This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

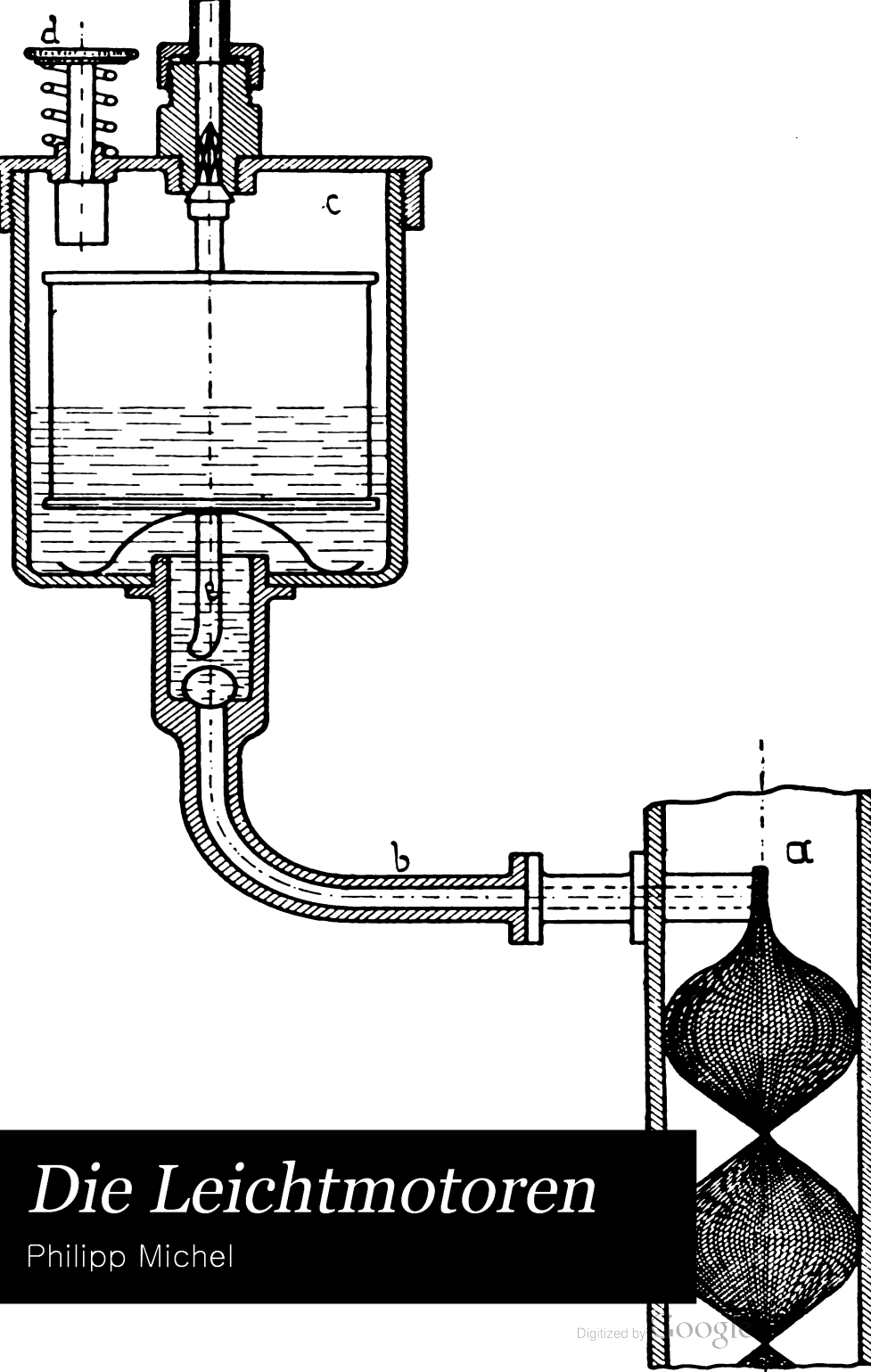
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

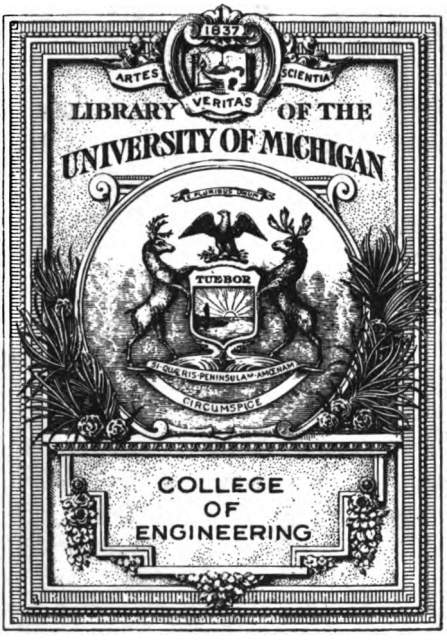
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



Die Leichtmotoren

Philipp Michel

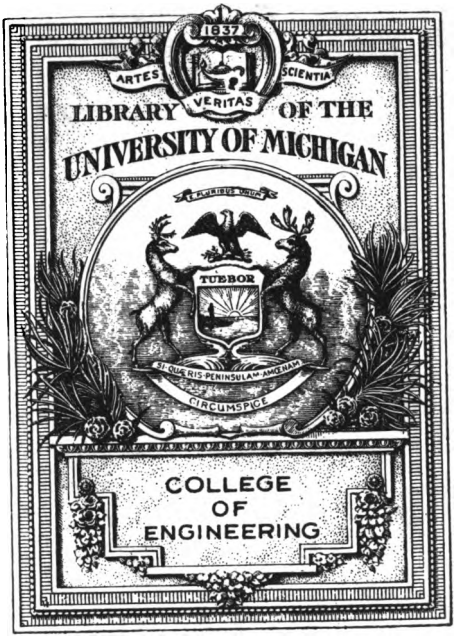
Digitized by Google



Digitized by Google

neering
Library
TJ
785
.M62

Digitized by Google



Digitized by Google

neering
Library
TJ
785
.M62

Digitized by Google

Digitized by Google

Die

Leichtmotoren

Ein Lehrbuch

für die Studierenden des Maschinenbaus

von

Dipl.-Ing. Ph. Michel

Dozent am Städt. Friedrichs-Polytechnikum Cöthen

Mit 53 in den Text eingedruckten Figuren und 2 Tafeln

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1912.

Digitized by Google

Copyright by S. Hirzel at Leipzig 1912.

Digitized by Google

Kollegienhefte.

Die Zeiten, in denen die Dozenten ihre Kollegienhefte nicht veröffentlichen wollten, um den Besuch der Vorlesungen nicht zu beeinträchtigen, sind längst vorüber.

Man weiß, daß die Zauberkraft des gesprochenen Wortes durch nichts zu ersetzen ist. Ebenso bekannt ist aber, daß das Nachschreiben eines akademischen Vortrags die Wirkung und den Genuß des Vorgetragenen stark abschwächt.

Das Anhören des Vortrages ohne Nachschreiben übt aber eine zu wenig nachhaltige Wirkung auf die Hörer aus, das Ausarbeiten der Vorträge zuhause nach gemachten Notizen wird immer seltener, so ist die Herausgabe von „Kollegienheften" fast zur Notwendigkeit geworden.

So sollen unter dem Sammelnamen

„Kollegienhefte"

Stoff und Inhalt einer größeren Reihe akademischer Vorträge aller Fachrichtungen erscheinen.

Die Kollegienhefte bilden kein Stenogramm des betreffenden akademischen Vortrags, sie bringen nur den Inhalt, nicht die Form des Kollegs.

Sie enthalten kurzgefaßt alles Wesentliche, vor allem alles positive Material, alle Zahlen, Formeln, Tabellen, dann

377064

Digitized by Google

ausführliche Literaturangaben. Der Stoff wird durch viele groß und gut ausgeführte Skizzen und Illustrationen erläutert, es sind besonders sorgsam ausgearbeitete Inhaltsverzeichnisse und alphabetische Register vorhanden, so daß die „Kollegienhefte" eine Reihe bequem zu handhabender Kompendien darstellen, die bei der **Vorbereitung zu Prüfungen und in der Praxis** gleich gute Dienste tun werden.

Die Kollegienhefte sollen in allen einschlägigen Fachfragen entweder selbst Auskunft geben, oder doch angeben, wo Näheres über die angeschnittene Frage zu finden ist.

In Form und Ausgestaltung schließen sie sich am meisten an die „Handbooks" der amerikanischen Universitäten und Hochschulen an, die sich überall glänzend bewährt und gerade bei Praktikern gut eingeführt haben.

Die Kollegienhefte werden nur gebunden und mit Skizzierpapier durchschossen in den Handel gebracht.

So dienen sie dazu, in die Kollegia mitgenommen zu werden. Sie werden dort durch Notizen und Skizzen ergänzt. Der Vortragende braucht in vielen Fällen Tabellen und Skizzen nicht an die Wandtafel anzuzeichnen, sondern verweist auf die betreffende Seite des Kollegienheftes.

Durch die Kollegienhefte wird für Lehrer und Hörer viel Zeit gewonnen und der Vortrag kann so lebendiger und nutzbringender gestaltet werden. Der Besuch der Vorlesungen wird durch die Kollegienhefte besser, nicht schwächer.

Dem Hörer werden seine Kollegienhefte durch das regelmäßige Mitnehmen in die Vorlesungen, durch die dort nachgetragenen Ergänzungen so vertraut, daß er sie auch nach Beendigung des Studiums nicht fortgibt, sondern als treue Begleiter und Nachschlagewerke für die Praxis behält.

Die Kollegienhefte sind dazu bestimmt, den Grundstock des Wissens für jeden Studenten zu bilden, sie sollen eine Studenten-Bibliothek sein, deren einzelne Bände von dem Hörer in den Vorlesungen erlebt und durch ergänzende Notizen und Skizzen mit aufgebaut wurden.

Die Kollegienhefte erscheinen in zwanglosen Serien

Digitized by Google

von je zwölf Bänden. Die Bände erscheinen einzeln im Buchhandel und werden zum Preise von etwa 6 Mark einzeln abgegeben.

Der Verlag hat weder Mühen noch Kosten gescheut, für die beste Ausstattung von Wort und Bild zu sorgen.

Coethen, Wintersemester 1911.

Der Herausgeber:

Dipl.-Ing. Prof. Dr. Foehr,
Direktor des Städt. Friedrichs-Polytechnikums.

Verzeichnis der ersten Serie

Band 1—12:

1. Band: **Foehr, Mineralogie für Ingenieure und Chemiker.**
2. „ **Berndt, Experimentalphysik.**
3. „ **Haenig, Technische Wirtschaftskunde I.** Kartelle und Trusts.
4. „ **Dupré, Leitfaden der qualitativen Analyse.**
5. „ **Michel, Leichtmotoren.**
6. „ **Speidel, Wasserkraftmaschinen I.**
7. „ **Speidel, „ „ II.**
8. „ **Rohen, Maschinenelemente.**
9. „ **Galka, Technische Mechanik I.**
10. „ **Zipp, Grundzüge der Elektrotechnik I.**
11. „ **Galka, Technische Mechanik II.**
12. „ **Schimpke, Mechanische Technologie.**

Für die nächsten Serien sind bereits eine Anzahl bekannter und bewährter Autoren gewonnen.

Digitized by Google

Digitized by Google

Vorwort.

Die Bearbeitung des Vortrags über Leichtmotoren schließt sich dem Programm, das den „Kollegienheften" zu Grunde liegt an. Es ist für das Verständnis desselben ein Vertrautsein mit den Grundlagen des Dampf- und Gasmaschinenbaus vorausgesetzt.

Die Gliederung in einen Hauptteil und einen Anhang machte sich dadurch nötig, daß der Stoff in einer einstündigen Vorlesung bewältigt werden muß. Der Inhalt des Anhangs soll dem, der sich dem Sondergebiet später zuzuwenden gedenkt, weitergehende Hinweise bezüglich der Bau- und Betriebsstoffe an die Hand geben, als sie im Vortrage gebracht werden können.

Coethen, im Sommer 1912.

Ph. Michel.

Digitized by Google

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Wirtschaftliche Bedeutung des Automobilmotors	2
Praktische Anforderungen	4
Der normale Viertakt-Wagenmotor	4
Wahl der Motorleistung	7
Aufbau des Motors von bestimmter Leistung	9
Der konstruktive Aufbau der Zylinder	18
Steuerung der Zylinder	25
Triebwerksteile	27
Die Kurbelwelle	32
Maschinengestelle	34
Rohrleitungen	41
Vergaser	45
Die Zündung	62
Die Regelung des Motors	65
Luftschiffmotoren	66
Bootsmotoren	67
Massenausgleich	68
Anhang	73
Über Spezialstähle	73
Krupp, Spezial-Automobilstähle	80
Bismarckhütte, Automobil-Spezialstähle	81
Krefelder Stahlwerk, Automobil-Spezialstähle	81
Gießbare Baustoffe	82
Das Benzin	85
Das Benzol	90

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

Die Leichtmotoren verdanken dem Bestreben, Fahrzeuge durch motorische Kräfte anzutreiben, ihre Entstehung. Die dabei auftretende Hauptaufgabe und Hauptschwierigkeit war und ist, das Gewicht des Motors im Verhältnis zu seiner Leistung soweit wie irgend angängig herabzumindern, damit das Verhältnis von Eigengewicht zu Nutzlast möglichst günstig ausfällt.

Wie weit man bisher in diesem Bestreben gekommen ist, beweist die Gegenüberstellung des durchschnittlichen Gewichtes ortsfester Gasmaschinen mit ungefähr 180 kg für 1 PS., gegen 9—10 kg bei Leichtmotoren für 1 PS. und komplette Maschine mit allem Zubehör.

Die geschichtlich am frühesten auftretende Aufgabe war die Fortbewegung von Landfahrzeugen. Die erste brauchbare Lösung der Aufgabe war die Dampflokomotive, die streng genommen ebenfalls als Leichtmotor anzusprechen wäre, denn sie weist ungefähr 60—70 kg Gewicht für 1 PS. auf. Da der Umfang des Lokomotivbetriebes ein ganz erheblicher ist, und da ferner die auf geleisloser Bahn bewegten Fahrzeuge grundsätzlich andere Lösungen verlangen, pflegt man die Lokomotiven gesondert zu behandeln und benennt die geleislosen Fahrzeuge mit der allgemeinen Bezeichnung Kraftwagen (oder zurzeit noch mehr vorherrschend Automobile), je nach der Art des Antriebsmotors die Unterbezeichnung Dampf-, Elektro- und Gasautomobil wählend.

Digitized by Google

Da das Gasautomobil das weit vorherrschende Fahrzeug ist, so verbindet man mit dem Begriff Automobil vielfach direkt den Begriff des Gasautomobils und in dem gleichen Sinne pflegt man unter Automobilmotor schlechtweg einen Fahrzeugmotor zu verstehen, der mit dem Gas eines der leicht verdampfenden Kohlenwasserstoffe betrieben wird.

Kurze Zeit nach dem Auftreten der Leichtmotoren für Landfahrzeuge benutzte man dieselben auch zum Betrieb von leichten Booten. Da für diesen Betrieb etwas abweichende Betriebsbedingungen vorliegen, hat sich ein besonderer Typus der Bootsmotoren entwickelt.

Nachdem man in den letzten Jahren die an und für sich schon alten Bestrebungen Luftfahrzeuge durch motorische Kräfte, unabhängig von der herrschenden Windrichtung zu bewegen, eifrig und mit Erfolg wieder aufgegriffen hat, ferner Luftfahrzeuge schwerer als die Luft mit Drachenflächen benutzt, bildet sich gegenwärtig ein neuer Typ der Leichtmotoren, der den hier vorliegenden Bedingungen besonders angepaßt ist, heraus, der Luftschiffmotor.

Den entwicklungsgeschichtlich und wirtschaftlich wichtigsten Teil der gesamten Gruppe stellt der Fahrzeugmotor dar, deshalb ist auf ihn in der Behandlung das Hauptgewicht gelegt, die beiden Abarten Bootsmotor und Luftschiffmotor sind im Anschluß daran nach ihren besonderen Betriebsbedingungen kurz behandelt.

Wirtschaftliche Bedeutung des Automobilmotors bzw. der Automobilindustrie für Deutschland.

Dieselbe geht aus den nachstehend angeführten Zahlen hervor, die die wichtigsten Daten über Erzeugung und Aus- und Einfuhr umfassen.

An Kraftfahrzeugen waren im Deutschen Reiche vorhanden:

Jahr	insgesamt	für Personenbeförder.	für Lastbeförder.
1907	27026 St.	25815 St.	1211 St.
1908	36022 „	34244 „	1778 „
1909	41727 „	39475 „	2252 „
1910	49941 „	46922 „	3019 „

Digitized by Google

Einfuhr von Automobilen nach Deutschland:

Jahr	Personenwagen	Lastwagen	Motorräder
1903	5 641 dz	491 dz	492 dz
1904	8 459 „	594 „	709 „
1905	15 379 „	894 „	645 „
1906	16 638 „	693 „	215 „
1907	16 938 „	1035 „	244 „
1908	12 313 „	1083 „	240 „
1909	11 838 „	1382 „	178 „
1910	12 221 „	1697 „	187 „

Ausfuhr von Automobilen aus Deutschland:

Jahr	Personenwagen	Lastwagen	Motorräder
1903	5 876 dz	2110 dz	585 dz
1904	13 086 „	3978 „	1221 „
1905	17 301 „	6695 „	1560 „
1906	12 421 „	9768 „	1672 „
1907	12 108 „	9768 „	1784 „
1908	14 462 „	4110 „	1363 „
1909	22 100 „	4568 „	1758 „
1910	37 678 „	6456 „	1655 „

Ausfuhr und Einfuhr von Motoren:

Jahr	Einfuhr	Einfuhr	Ausfuhr	Ausfuhr
1906	1119 dz	663 000 M.	2333 dz	1 860 000 M.
1907	1177 „	821 000 „	4 730 „	4 051 000 „
1908	1154 „	606 000 „	5 634 „	5 351 000 „
1909	1000 „	709 000 „	10 839 „	10 527 000 „
1910	711 „	504 000 „	14 693 „	13 540 000 „

Zahl der Automobilfabriken und deren Umfang:

Im Jahr:	1901	1903	1906	1907	1908	1909
1. Zahl der Betriebe	12	18	34	52	53	54
2. Zahl der durchschnittlich beschäftigten Arbeiter u. Angestellten	1773	3684	11 439	12 688	12 430	17 748
3. Gesamtbetrag der Löhne und Gehälter in Mill. M.	2,2	4,8	15,9	18,9	18,2	22,5
4. Wert der verarbeiteten Rohstoffe, Halb- und Ganzfabrikate in Mill. M.	2,6	6,7	26,2	29,2	22,1	34,5
5. Wert der erzeugten Waren in Mill. M.	5,7	14,1	51,0	57,5	52,9	70,0

Digitized by Google

Kapital das in den Automobilfabriken festgelegt ist:

1901: 7536000 M.
1903: 16306000 M.
1906: 43000000 M.

Praktische Anforderungen an die Fahrzeugmotoren.

Neben der allgemeinen Forderung nach tunlichst kleinem Gewicht für die Leistungseinheit treten noch weitere, für die drei gekennzeichneten Gruppen besondere, mehr oder weniger Gewicht besitzende Forderungen auf, die zunächst zu kennzeichnen sind.

Zunächst die **Betriebssicherheit.** Für alle 3 Gruppen in hohem Maße erwünscht, ist dieselbe bei Luftschiffmotoren am wichtigsten, da ein Versagen des Motors meist die ernstesten Gefahren bedingt. Weniger gefährdend aber immerhin vielfach in recht mißliche Lagen bringt das Versagen des Motors ein Boot, am wenigsten gefährdet wird durch Versagen ein Kraftwagen.

Zwei für den Wagenmotor sehr wichtige Erschwerungen sind der **Staub und Schmutz** der Straße und die **Erschütterungen** durch die Unebenheiten der Fahrbahn, welche für Bootsmotoren und Luftschiffmotoren wegfallen. Die Wichtigkeit geringsten Gewichtes für die Leistungseinheit ist beim Luftschiffmotor am größten, beim Bootsmotor am geringsten, weshalb man beim Luftschiffmotor auch vor teueren Ausführungen nicht zurückschreckt um dieses Ziel möglichst zu erreichen, während man beim Bootsmotor einige Kilogramm Mehrgewicht nicht zu scheuen braucht, wenn es sich darum handelt, den Motor dafür stabiler und dem Betrieb besser angepaßt auszugestalten. Beim Wagenmotor ist neben dem Bestreben nach Leichtigkeit der Preis sehr zu berücksichtigen, da der Gebrauchswagen immer größere Bedeutung für die Automobilindustrie gewinnt gegenüber dem Sportfahrzeug.

Der normale Viertakt-Wagenmotor.

1. Allgemeine Anordnung.

Während der Entwicklung des Wagenmotors tauchten die verschiedenartigsten Anordnungen in bezug auf Lage der Maschine im Fahrzeug, in bezug auf Zylinderzahl und Anordnung und in be-

Digitized by Google

zug auf die Übertragungsmechanismen der Energie auf die Räder auf. Aus der anfänglichen Vielgestaltigkeit heraus hat sich dann eine gewisse Normalform entwickelt, die sich gewissermaßen als Ausfluß der Auslese darstellt, wie sie die überaus schwierigen Betriebsbedingungen gezeitigt haben.

Diese Normalform weist einen stehenden, mehrzylindrigen, raschlaufenden Motor auf, der am vorderen Ende des Wagens seinen Platz hat, frei zugänglich ist und durch eine leicht entfernbare Haube gegen außen abgeschlossen ist. Der Antrieb des Fahrzeugs wird durch eine in Richtung der Längsachse des Fahrzeugs verlaufende Welle vorwiegend auf die Hinterräder weiter geleitet, in deren Verlauf Kuppelung, Wechsel- und Ausgleichgetriebe eingeschaltet sind. Die **stehende Anordnung** der Maschine, Zylinder oben, hat sich allgemein eingeführt, da sie in wagerechter Richtung schmal baut, was wegen der durch den Ausschlag der Vorderräder beschränkten Rahmenbreite sehr erwünscht ist. Ferner ist bei dieser Anordnung auf beiden Seiten des Zylinders noch genügend Raum, um die Hilfsapparate, wie Zünddynamo, Kühlwasserpumpe, Vergaser, Ölpumpe und die Rohrleitungen übersichtlich und leicht zugänglich unterzubringen.

Die liegende Anordnung verbietet sich, wegen des beschränkten Platzes. Die V Anordnung der Zylinder, die konstruktiv viel Bestechendes an sich hat und auch verschiedentlich zur Anwendung kommt, erfüllt die Forderung nach übersichtlicher Anordnung der Hilfsapparate und Rohrleitungen und die, bequemer Zugänglichkeit weniger vollkommen, insbesondere ergibt sie keinen gleich guten Massenausgleich als die oben gekennzeichnete Normalform.

Die Stellung des Motors am Vorderende des Wagens allein gibt die unbedingt zu fordernde bequeme Zugänglichkeit zu demselben, ohne die Notwendigkeit von der Carosserie Teile abbauen zu müssen. Sie hat allerdings den Nachteil, daß eine lange Wellenleitung erforderlich ist. Daß bei ihr die Wechselgetriebe unter der Carosserie untergebracht werden müssen, ist nicht allzu bedenklich, denn diese Teile sind ohne Schwierigkeit sehr betriebssicher herzustellen, sie werden völlig gekapselt ausgeführt, so daß sie ständig im Ölbad laufen. Ein Nachsehen ist an diesen Teilen nur in größeren Zeiträumen erforderlich, so daß das dabei nötig werdende Abbauen der Carosserie nicht sehr erschwerend in die Wagschale fällt.

Digitized by Google

Die **hohe Umlaufzahl** des Motors wird durch die Forderung, möglichst geringes Gewicht für die Leistungseinheit zu erzielen, erzwungen. Vom Standpunkt des Motorbaus betrachtet, ist die hohe Umlaufzahl ein Übel, denn die hohe Kolbengeschwindigkeit beeinflußt den Ladevorgang aufs Nachteiligste. Daß die Schwierigkeit, einen ruhig laufenden Motor zu erhalten, mit zunehmender Umdrehzahl wächst, versteht sich von selbst. Aus diesen Gesichtspunkten heraus findet, man zurzeit Umdrehzahlen zwischen 1000—1400 angewendet. Höhere Umlaufzahlen sind aber anzustreben, da sie das wirksamste Mittel sind, das Motorgewicht herabzudrücken, da sie außerdem den Wagen in eine niedrigere Steuerklasse bringen, weil die Steuerklasse sich nur nach Kolbenhubraum bemißt und die Umdrehzahl unberücksichtigt läßt, ein Umstand, der besonders für den kleineren Gebrauchswagen wichtig ist. Die Erhöhung der Umlaufzahl muß aber Hand in Hand mit sorgfältigster Herstellung in der Werkstätte gehen und ist nur bei Verwendung genügend großer Ventilquerschnitte von wirklichem Vorteil.

2. Die **Betriebsverhältnisse** der Leichtmotoren sind gegenüber einer ortsfesten Maschine die denkbar ungünstigsten.

Zunächst fehlt das starre Fundament, das sowohl die freien Kräfte aufnimmt, als auch Verbiegungen vom Maschinengestell fernhält. Im Gegenteil werden beim Fahrzeug vom Rahmen her heftige Erschütterungen übertragen und der Rahmen, selbst elastisch, zieht den Motor bei den ihm zugemuteten Formänderungen stark in Mitleidenschaft. Sorge des Konstrukteurs muß es demnach sein, das Gehäuse des Motors so auszubilden, daß es möglichst starr wird, und es außerdem tunlichst so am Rahmen aufzuhängen, daß übergroße Verbiegungen ferngehalten werden.

Die Bedienung, die bei der ortsfesten Maschine die denkbar sorgfältigste zu sein pflegt, ist beim Fahrzeugmotor meist alles andere als dies. Um sie möglichst zu erleichtern, muß der Konstrukteur beim Entwurf darauf bedacht sein, alle Teile die des öfteren nachgesehen werden müssen leicht zugänglich zu halten und alle scharfen und einspringenden Ecken, die Schmutzwinkel werden könnten, zu vermeiden. Beim Aufnehmen von Ventilgehäusen u. dgl. auf der Reise ist es kaum zu vermeiden, daß Sand und Schmutz in das Innere des Motors eindringen und dort ihr Zerstörungswerk verrichten. Insbesondere sollen deshalb alle Dichtungsflächen der Teile, welche während der

Digitized by Google

Fahrt aufzunehmen sind, frei liegen, so daß sie ohne große Mühe sauber abgewischt werden können. Der Abschluß des Motors nach unten, nach der Fahrbahn hin, soll dicht sein und dieser Abschluß möglichst glatt, damit der Straßenschmutz durch Abspritzen mittels der Wasserleitung beseitigt werden kann, ohne daß zu befürchten ist, daß das Wasser in den Motorraum eindringt.

Um die Bedienung der Maschine und etwa während der Reise erforderlich werdende Auswechselung von kleineren Teilen bequem vornehmen zu können, ist es notwendig, daß der Konstrukteur sich nicht nur bei jeder Schraube darüber Rechenschaft gibt, wie man mit dem Schlüssel bei eingebautem Motor an sie heran kann, sondern vor allem auch darauf Bedacht nimmt, möglichst wenig Mutterngrößen zu verwenden. Das Ideal wäre mit nur einem Schlüssel auszukommen, denn nur dann kann man die Bedienung davon abbringen, die verstellbaren Schlüssel anzuwenden, deren Gebrauch dafür sorgt, daß die Kanten der Muttern in kürzester Zeit rund sind, so daß weder ein Lösen noch ein richtiges Festziehen der Muttern mehr möglichst ist.

Ferner ist sowohl mit Rücksicht auf die Auswechselung, als auch insbesondere aus Rücksicht auf eine Verbilligung in der Herstellung eine möglichst weitgehende Gleichartigkeit der einzelnen Teile vom Konstrukteur anzustreben.

Kolben, Kolbenringe, Schubstangen, Ventile, Ventilgestänge und Ventilfedern lassen sich ohne große Mühe so gestalten, daß sie völlig gleich für alle Stellen sind, so daß für jedes derselben nur ein Reservestück vorhanden zu sein braucht. Gleichzeitig werden für die ausführende Fabrik, durch die Möglichkeit der Massenherstellung der Teile, dieselben verbilligt und trotzdem ein hohes Maß der Genauigkeit ermöglicht.

Wahl der Motorleistung.

Die vom Motor zu verlangende Leistung setzt sich aus mehreren Anteilen zusammen, aus der Leistung zur Überwindung der Fahrwiderstände der ebenen Fahrbahn, dem Luftwiderstand, dem Widerstand von Steigungen und den Reibungswiderständen im Getriebe des Wagens.

Dazu soll noch eine gewisse Reserve kommen, die die Sicherheit des Fahrens erhöht und widrige Witterungseinflüsse,

Digitized by Google

ohne wesentliche Verringerung der Fahrgeschwindigkeit überwinden läßt und den durch falsche Gemischbildung, mangelhafte Zündung, Undichtwerden der Ventile bedingten Leistungsausfall deckt. Ferner ermöglicht diese Leistungsreserve eine stärkere Beschleunigung des Wagens beim Übergang auf eine höhere Geschwindigkeitsstufe. Die Reserve ist dabei nicht unbedingt erforderlich, denn diesen zuletzt genannten Einflüssen mit Ausnahme der Beschleunigung kann durch Verwendung einer kleineren Geschwindigkeitsstufe begegnet werden.

Von den Widerständen ist eigentlich nur der Widerstand auf Steigungen ohne weiteres gegeben, er ist die in der Sekunde erreichte Hebung des Fahrzeugs mal Gewicht durch 75. Oder wenn die Steigung s in % gegeben ist und V die Geschwindigkeit in km/Stunde bezeichnet mit der sie befahren werden soll, so gibt mit praktisch genügender Annäherung $n_1 = \frac{s.V}{27}$ die Leistung in PS zum Überwinden der Steigung für 1 t Fahrzeuggewicht.

Der Widerstand auf ebener Bahn hängt in außerordentlichem Maße von der Beschaffenheit der Straßenoberfläche, ferner von der Bereifung und Federung des Wagens ab. Man rechnet im Durchschnitt mit p=30 kg Widerstand für 1 t Fahrzeuggewicht. So daß zur Erhaltung einer Geschwindigkeit von V km/St. und 1 t Wagengewicht $n_2 = \frac{p.V}{270}$ PS notwendig werden.

Von den Versuchswerten zur Bestimmung der einzelnen Widerstände sei auf die von Riedler in „Wissenschaftliche Automobilwertung", Verlag von R. Oldenburg 1911, erschienenen Berichte besonders hingewiesen, die auf wissenschaftlicher Grundlage die eingehendsten bisher ausgeführten Versuche enthalten. Der Verlust durch die Reibung im Getriebe des Wagens selbst ist von Riedler in den genannten Veröffentlichungen für 3 Wagen ermittelt und ergab für den direkten Schaltgang Werte zwischen 9% bis 11% bei 2 Rennwagen, Werte von 19% für einen Gebrauchswagen.

Der Verlust wächst nach diesen Messungen bei Vorhandensein von Stirnradvorgelegen im Wechselgetriebe nahezu prop. dem Quadrate des Übersetzungsverhältnisses.

Ist neben diesen Energiebeträgen noch ein gewisser nicht zu kleiner Energieüberschuß (20%—30%) im Motor, so kommt

Digitized by Google

dies der Sicherheit des Fahrens zugute, weil ein solcher Wagen bei Hindernissen im Fahrverkehr ruhiger abwarten kann, da er die Zeitversäumnis auf glatter Strecke bequem wieder einholt.

Außerdem hat er für die erforderliche Beschleunigung des Wagens beim Übergang von einer kleineren auf eine höhere Fahrgeschwindigkeit eine wesentlich kürzere Zeit nötig als ein Wagen mit schwachem Motor, so daß er bestimmte Fahrzeiten leichter einhalten kann; auch bremst der starke Motor abgedrosselt kräftiger als ein schwacher.

Die geschilderte Unsicherheit in der Schätzung der Widerstände und das verschiedene Ausmaß der Energiereserve bringen es mit sich, daß für gleiche Anforderungen die Motorstärken ausgeführter Wagen bis 100% Unterschied aufweisen.

Aufbau des Motors von bestimmter Leistung.

Die erforderliche Motorleistung kann durch Vergrößerung der Abmessungen oder durch Vergrößerung der Zylinderzahl erreicht werden.

Der erste Weg scheint zunächst der theoretisch richtige, da im allgemeinen mit zunehmender Leistung einer Maschine der Wirkungsgrad günstiger wird und eine wenig-gliedrigere Konstruktion betriebssicherer zu sein pflegt als eine vielgliedrige.

Praktisch hat sich der Fahrzeugmotor aber gerade in umgekehrter Richtung entwickelt, die mehrzylindrige Anordnung ist die Regel.

Das erklärt sich aus folgenden Gründen. Die Viertaktmaschine hat ein sehr ungleichmäßiges Drehmoment, das durch Mehrzylinderanordnung und Kurbelversetzung wesentlich verbessert wird, wobei man gleichzeitig noch einen besseren Ausgleich der Massenkräfte erzielt. Ferner legt das Versagen eines Zylinders nicht die ganze Maschine lahm, wenn eine größere Anzahl Zylinder vorhanden ist und endlich läßt sich durch die mehrzylindrische Anordnung eine weiter gehende Massenherstellung von Einzelteilen erzielen, was die Herstellung in erheblichem Maße verbilligt.

Als Nachteil bleibt allerdings der schlechtere Maschinenwirkungsgrad bestehen, ein Umstand, der jedoch nicht allzu erschwerend ins Gewicht fällt, da der dadurch bedingte höhere

Digitized by Google

Benzinverbrauch gegenüber den Bereifungs- und Tilgungskosten des Fahrzeuges an und für sich erfahrungsgemäß wirtschaftlich keine so große Rolle spielt.

Zur Erzielung größerer Leistungen könnte man nun einfach eine Reihe von gleichen Motoren hintereinanderlegen, man erhielte dann bei n Zylinder 2n Kurbellager und eine beträchtliche Baulänge, das Gewicht wäre n mal dem Gewicht der Einheitsmaschine. Gewicht, Baulänge und Preis kann man nun dadurch herabdrücken, daß man 2 oder mehr Zylinder in einem Gußstück vereinigt. Die Abb. 1 zeigen im Vergleich mit Abb. 2 ohne weiteres den Vorteil, den man durch Zusammengießen zweier Zylinder erreicht. Die Zahl der Lager wird $\frac{n}{2}+1$ bei n Zylinder. Bei Zweizylindermaschine also 2, bei Vierzylinder 3, bei 6-Zylindermaschine 4. Dazu kommt noch der Vorteil, daß man Ansauge- und eventuell Auspuffleitungen vereinigen kann, also nur die Hälfte der Rohranschlüsse nötig hat, was für die Vereinfachung der Rohrleitungen ein sehr schätzenswerter Vorteil ist.

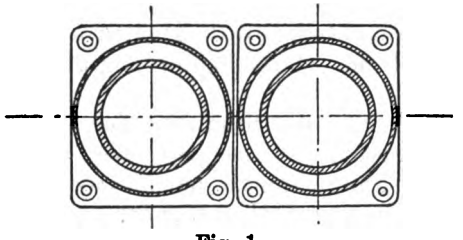


Fig. 1.

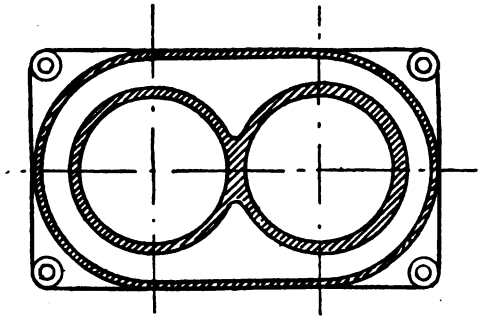


Fig. 2.

Zwischen je zwei Lagern sitzen zwei Kurbelkröpfungen, so daß die Entfernungen noch nicht so groß werden, daß für diese Kurbelkröpfungen unbequem große Wellendurchmesser entstünden.

Die Baulänge und das Gewicht verkleinert sich, da man wegen Wegfall eines Teils der doppelten Kühlmäntel die Zylinder-

Digitized by Google

mitten dichter aneinanderrücken kann, ebenso werden die Bearbeitungskosten etwas verringert.

Die gleichen Vorteile in erhöhtem Maße scheint auf den

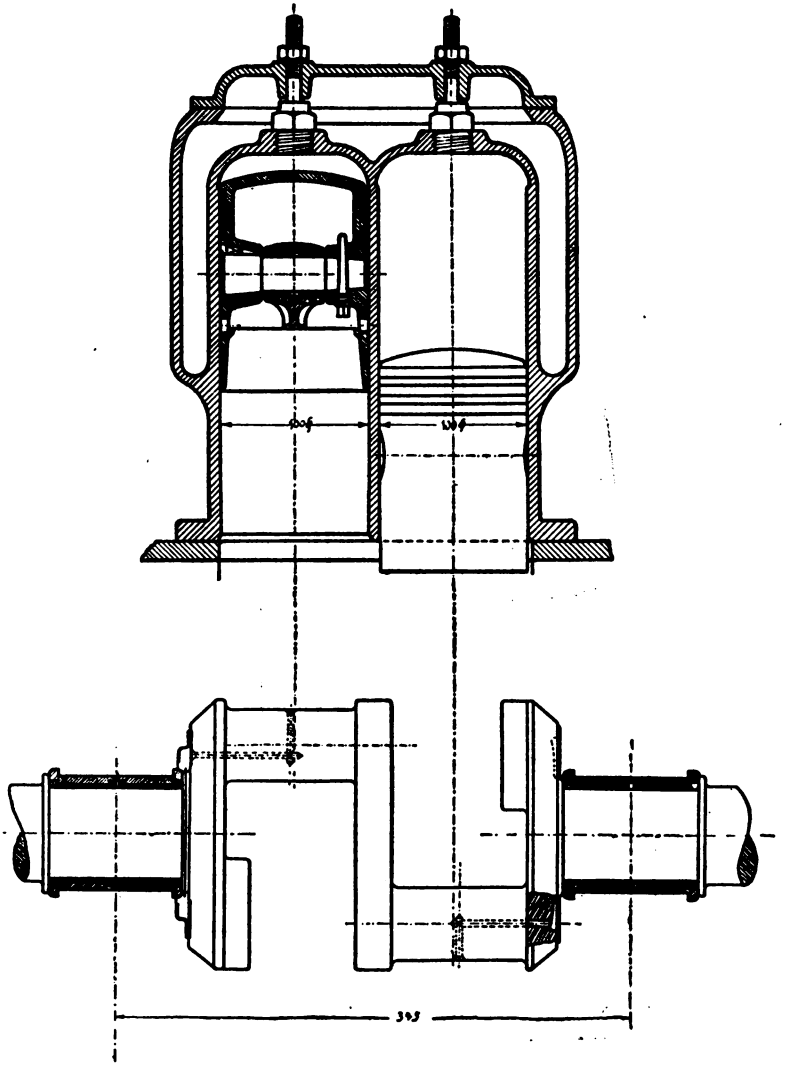


Fig. 3.

Digitized by Google

ersten Blick die Vereinigung von 3 oder 4 Zylinder in einem Gußstück zu gewähren. Prüft man näher, so stößt man aber auf eine ganze Reihe von Schwierigkeiten. Die Lagerentfernung wird sehr groß, ohne Zwischenlager muß die Welle sehr stark werden. Dies weniger aus Rücksicht auf übergroße Biegungsbeanspruchungen, denen man durch Verwendung von hochwertigem Stahl begegnen könnte, als wegen der zu erwartenden Verbiegungen der Welle. Vergleiche Abb. 3 und 4. Ferner werden die Kanäle für Saug- und Auspuffleitungen unbequem lang und machen Schwierigkeiten beim Gießen.

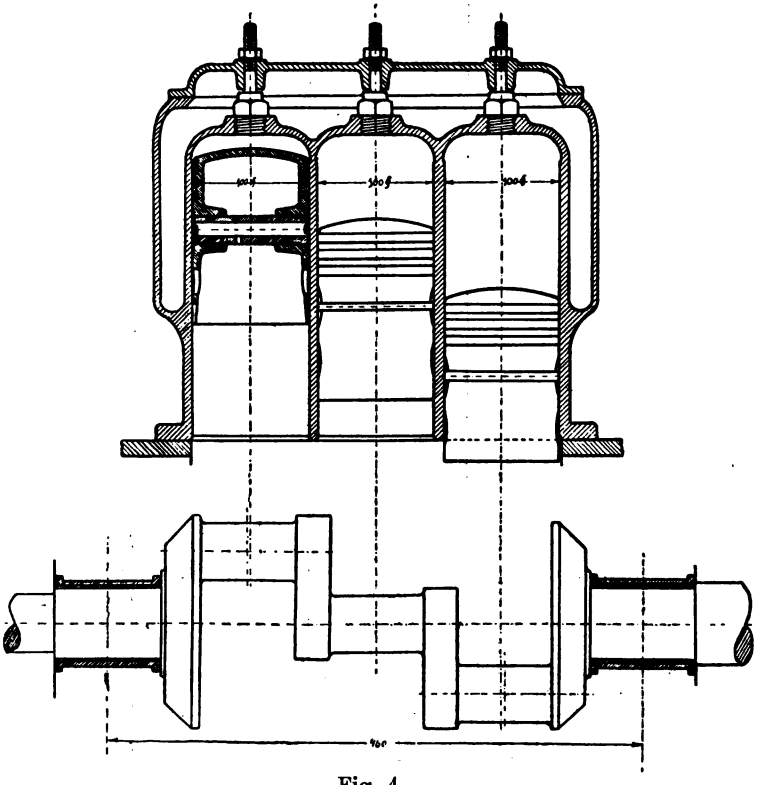


Fig. 4.

Die Auspuffkanäle länger als unbedingt nötig durch den Kühlmantel gehen zu lassen, ist deshalb wenig erwünscht, weil

Digitized by Google

dadurch die vom Kühlwasser aufgenommene Wärmemenge stark wächst, die Kühlflächen des Rückkühlers also unnötig hoch belastet werden. Aus diesen Gründen sind 3 und 4 Zylinder in einem Gußstück seltener in Anwendung, sie ergeben auch nur die beiden Möglichkeiten 3- oder 6-Zylindermaschinen aufzubauen, während die vorhergehende Anordnung zwanglos 2-, 4- und 6-Zylinder Anordnung ermöglicht. Dazu kommt noch, daß bei solchen ungemein komplizierten Gußstücken viel Ausschuß zu entstehen pflegt, was natürlich die gesamten Fabrikationskosten sehr ungünstig beeinflußt.

Es wäre nun noch zu untersuchen, bis zu welchen Leistungen die verschiedenen Anordnungen (Zwei-, Drei-, Vier- und Sechszylinder) einmal im Hinblick auf das Gewicht, zweitens in bezug auf den Preis vorteilhaft anzuwenden sind.

Streng läßt sich diese Untersuchung nur für die Ausführungsart einer Fabrik anstellen. Auf Grund verschiedener vereinfachender Annahmen hat Pfitzner[1]) Formeln aufgestellt, welche ergeben:

Das Gewicht der verschiedenen Anordnungen in kg ergibt sich nach genanntem Autor, wenn N=Leistung des Motors in PS. ist zu:

$$G_I = 50 + 4{,}6\ N^{\frac{3}{4}} \quad \text{Einzylinder}$$
$$G_{II} = 58 + 2{,}4\ N^{\frac{3}{4}} \quad \text{Zweizylinder}$$
$$G_{III} = 65 + 1{,}6\ N^{\frac{3}{4}} \quad \text{Dreizylinder}$$
$$G_{IV} = 73 + 1{,}4\ N^{\frac{3}{4}} \quad \text{Vierzylinder}$$
$$G_{VI} = 88 + 1{,}0\ N^{\frac{3}{4}} \quad \text{Sechszylinder}$$

Trägt man diese Werte in ein Koordinatensystem, als Ordinaten die Motorgrößen, als Abszissen die Gewichte ein, so erhält man Figur 5, aus der zu ersehen ist, bis zu welchen Leistungen jede Motorart die leichteste ist. Aus der Figur 5 ergibt sich, daß:
der Einzylindermotor bis 2,5 PS. der leichteste Motor ist,

---

[1]) Der Automobilmotor und seine Konstr. von W. Pfitzner, Verlag von M. Krayer, Berlin 1907.

Digitized by Google

der Zweizylindermotor bis 4,5 PS. der leichteste Motor ist, der Dreizylindermotor bis 7,5 PS. der leichteste Motor ist, der Sechszylindermotor von 12,5 PS. an der leichteste Motor ist.

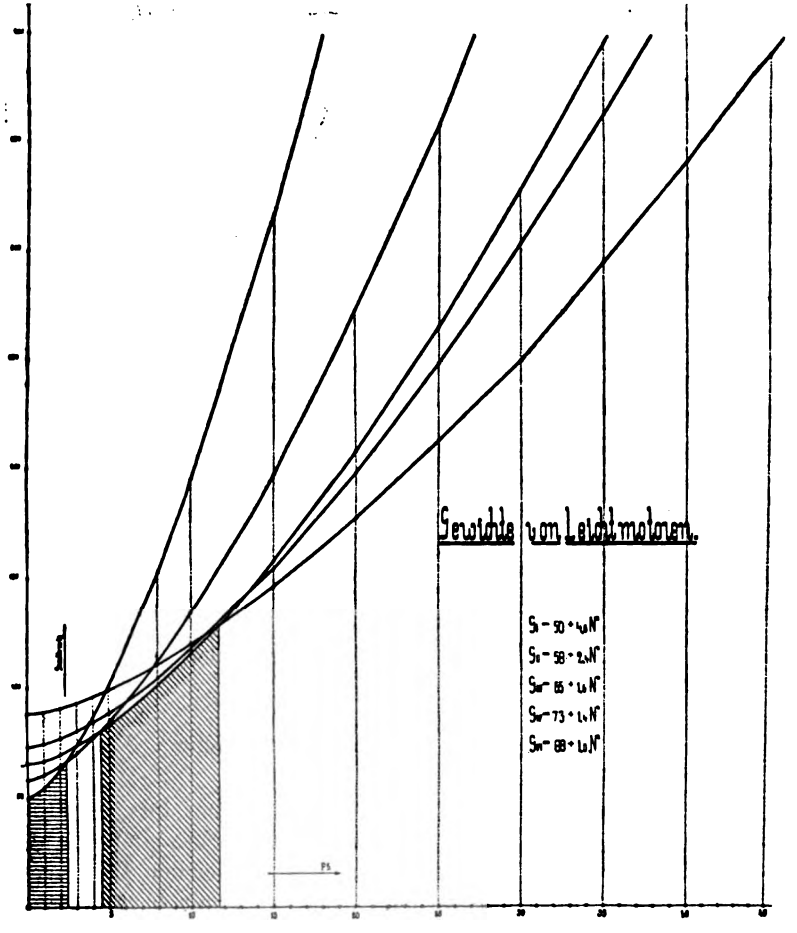


Fig. 5.

Berücksichtigt man nun noch, daß man wegen der Werkstattausführung nicht unter bestimmte Abmessungen der Zylinderdurchmesesr herabgeht, so verschieben sich die Werte

Digitized by Google

nach oben. Bei 80 mm als kleinsten ø etwa auf 3; 4; 6,7; 10 und 13,5 PS.

Mit noch geringerer Zuverlässigkeit lassen sich die Preise im allgemeinen vergleichen, so daß die von Pfitzner auf Grund gewisser Überlegungen aufgestellten Gleichungen nur als ungefähre Anhaltspunkte zu gebrauchen sind.

Nach genanntem Autor betragen die Verkaufspreise der verschiedenen Motortypen in Mark:

Einzylindermotor:	$K_I = 52 + 1{,}01\ N^{\frac{3}{4}} + 8{,}45\ N.$	Mark
Zweizylindermotor:	$K_{II} = 66 + 0{,}53\ N^{\frac{3}{4}} + 7{,}69\ N.$	„
Dreizylindermotor:	$K_{III} = 79 + 0{,}30\ N^{\frac{3}{4}} + 7{,}55\ N.$	„
Vierzylindermotor:	$K_{IV} = 93 + 0{,}31\ N^{\frac{3}{4}} + 7{,}44\ N.$	„
Sechszylindermotor:	$K_{VI} = 120 + 0{,}23\ N^{\frac{3}{4}} + 7{,}33\ N.$	„

Aus der zeichnerischen Darstellung der Gleichungen im rechtwinkligen Koordinatensystem (Abb. 6), Ordinaten = Preise, Abscissen = Leistungen, kann man die Leistungsgebiete ablesen innerhalb deren ein bestimmter Typ die billigste Maschine darstellt.

Es ergibt sich: der billigste Motor
bis 7,5 PS. ist der Einzylindermotor
von 7,5 bis 18 PS. der Zweizylindermotor
von 18 bis 29 PS. der Dreizylindermotor
von 29 bis 42 PS. der Vierzylindermotor
über 42 PS. der Sechszylindermotor.

Wenn diese Werte auch keinen Anspruch auf große Genauigkeiten machen können, so ist man mit Hilfe derselben doch in der Lage, sofern die Preise einer bestimmten Ausführung bekannt sind, durch prop. Änderung der Ordinaten sich einen Vergleichsmaßstab für Ausführungen mit anderer Zylinderzahl abzuleiten.

Allgemein läßt sich aus der Darstellung ablesen, daß für Ausführungen zwischen 10 bis 30 PS. die Zylinderzahl keinen großen Einfluß auf den Preis ausübt. Dieses Ergebnis wird verständlicher, wenn man bedenkt, daß der Preis der Hilfsapparate mit zunehmender Zylinderzahl teils überhaupt nicht, teils nur unwesentlich wächst.

Digitized by Google

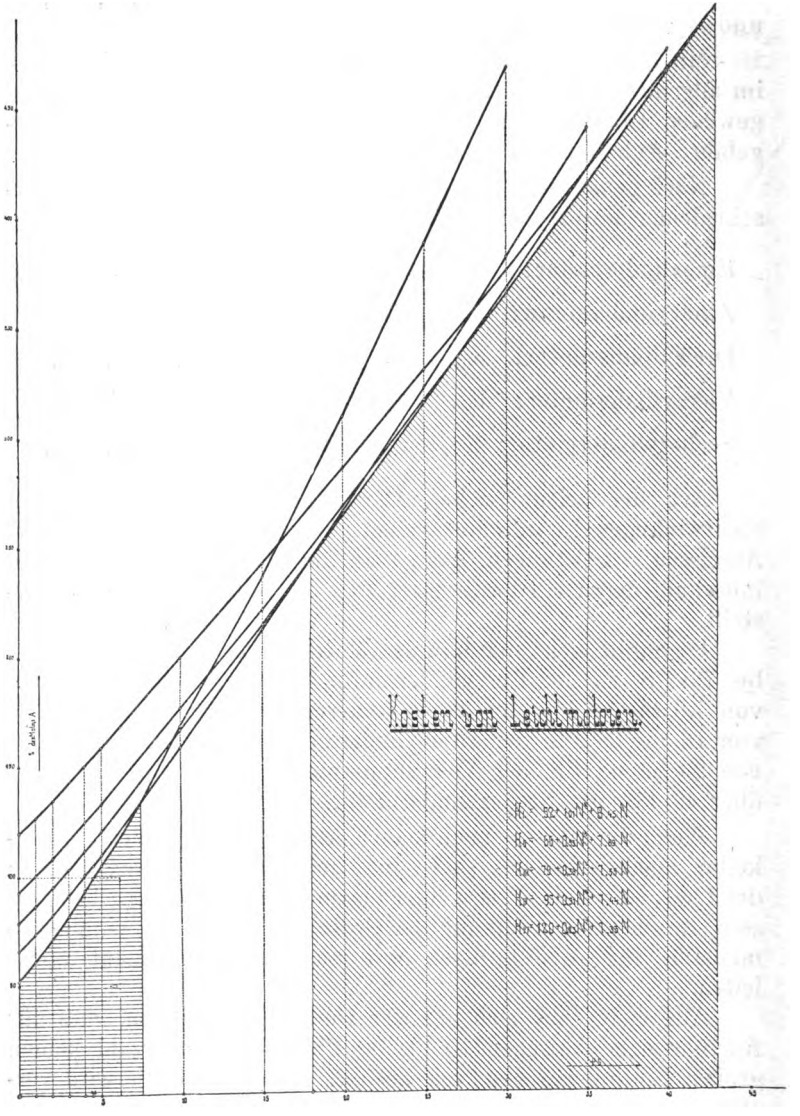


Fig. 6.

Digitized by Google

Hat man sich für die Fabrikation nun schlüssig zu machen, welche Grundtype man wählen soll, so ersieht man, daß eine solche zwischen 7 und 10 PS. bezüglich der Leistungen das gesamte Gebiet am besten deckt. Für Fabrikation in großem Maßstab wären vielleicht 2 Grundtypen von etwa 6 und 10 PS. Leistung zu wählen, wodurch das Leistungsgebiet von

6, 10, 12, 18, 24, 30, 36, 40, 60 PS.

ziemlich gleichmäßig gedeckt wäre.

Die **Abhängigkeit** zwischen Leistung und Zylinderabmessungen ergibt sich beim Leichtmotor, wie beim stationären Motor durch die Gleichung:

$$N = \frac{\frac{D^2 . \pi}{4} . p_m . s . n}{2.60.75}$$

wenn D = Zylinderbohrung in cm
s = Hub in m
n = Umdrehzahl/Min.
p_m = mittlerer Druck in atm bedeutet.

Faßt man die Glieder $\frac{s.n}{30} = c_m$ = mittlere Kolbengeschwindigkeit zusammen und berücksichtigt, daß dieser Wert stets gleich dem größtmöglichen (cm ≃ 5 m/S) gemacht wird, bedenkt man ferner, daß $p_m \simeq 5$ atm ebenfalls nahezu als Konstante anzusehen ist, so vereinfacht sich die Gleichung auf die Form

$$N = C . D^2.$$

C bedeutet dabei eine Konstante, die für die beiden oben gemachten Annahmen den Wert C=0,0654 annimmt.

Demnach würden sich für die beiden oben angenommenen Einheitszylinder die Abmessungen abgerundet ergeben zu: Für 6 PS.

Zylinderbohrung D=10 cm

und bei n=1250 Umdreh/Min.

120 m/m Hub.

Für 10 PS.

Zylinderbohrung D=12,5 cm

und bei n=1000 Umdreh/Min.

150 m/m Hub.

Digitized by Google

Der konstruktive Aufbau der Zylinder.

Die Motorzylinder werden vorwiegend aus Gußeisen hergestellt und sind, insbesondere wenn 2 Zylinder in einem Stück gegossen werden, recht komplizierte Gußstücke.

Die Schwierigkeiten beim Guß führen zu um so höherem Ausschuß, je weniger der Konstrukteur Hand in Hand mit der Werkstätte arbeitet. Eine Vereinfachung der Gußstücke ließe sich durch Teilung in Laufzylinder und Zylinderkopf erzielen, doch steht dem die schwer dicht zu bekommende Teilfuge und die Rücksicht auf möglichst verringerte Bearbeitungskosten entgegen. Man findet deshalb fast ausschließlich Zylinderkopf, Laufbüchse und Wassermantel zusammengegossen vor.

Wesentlich bedingt ist die Zylinderform durch die **Anordnung der Ventile.** Die bei der Entscheidung über die Ventilanordnung mitsprechenden Gesichtspunkte sind außerordentlich verschieden und sich zum Teil widersprechend, so daß eine Einheitlichkeit in der Ausführungsform nicht anzutreffen ist.

Zunächst ist die Frage, ob selbsttätiges oder gesteuertes Einlaßventil zu erörtern. Für das selbsttätige Einlaßventil spricht, daß es über dem Auslaßventil gelagert eine gute Kühlung des letzteren ergibt und eine günstige Ausbildung des Kompressionsraums zuläßt. Gegen das selbsttätige Einlaßventil spricht, daß es durch verspätete Eröffnung das Ladegewicht und damit die Leistung des Zylinders herabsetzt. Es muß sehr leicht gehalten werden und gibt deshalb zu Brüchen und Störungen vielfache Veranlassung.

Von allen diesen Übelständen ist das gesteuerte Einlaßventil frei, es kann kräftig ausgeführt werden und gibt ruhigen Gang und gute Regelfähigkeit des Motors. Man findet es jetzt fast ausnahmslos in Anwendung.

Seiner Verwendung haftet nur die Schwierigkeit an, daß die erforderliche Steuerung entweder verwickelter wird, oder die Lage des Ventils unzweckmäßig ausfällt.

Abb. 7 zeigt die Anordnung des Einlaßventils gegenüber dem Auslaßventil, wie sie zuerst von Daimler eingeführt wurde. Der Vorteil des stehenden Ventils ist das einfache Steuergestänge, das ganz symmetrisch zur Auslaßsteuerung ausgeführt ist. Der Nachteil in der Anordnung liegt in der Notwendigkeit der Verwendung einer zweiten Nockenwelle, die Preis und Gewicht

Digitized by Google

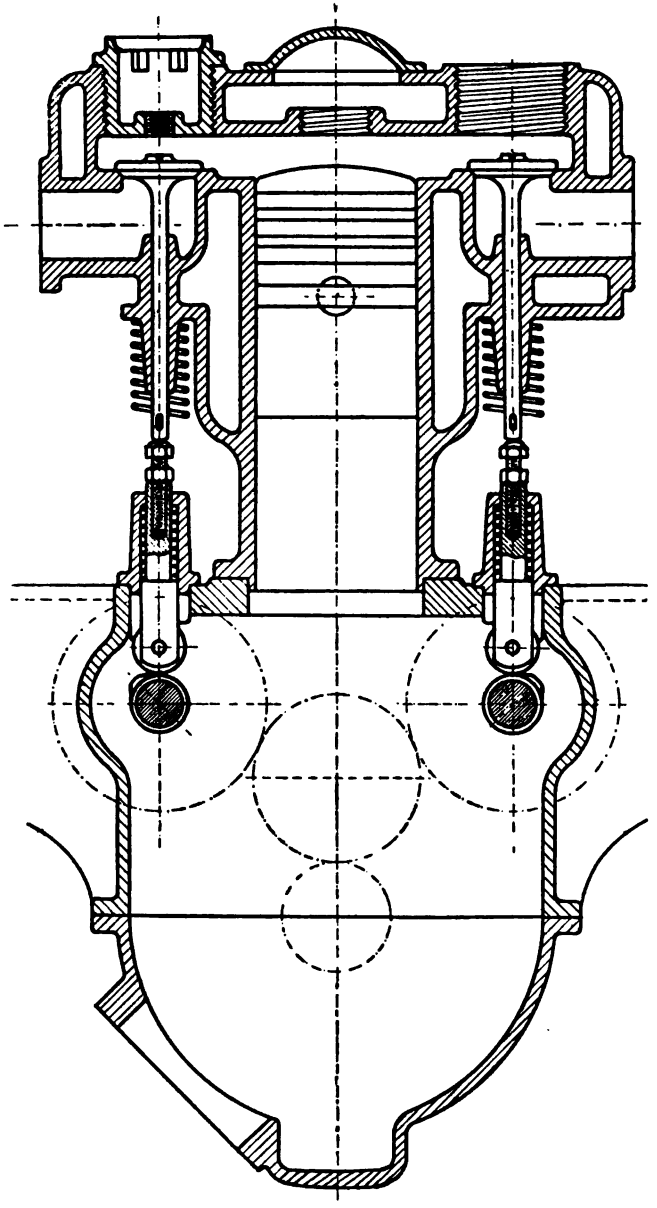


Fig. 7.

Digitized by Google

ungünstig erhöht. Ferner ist die Gestalt des Kompressionsraums recht ungünstig. Er wird zu einer flachen Scheibe, seine Oberfläche wird im Verhältnis zum Inhalt sehr groß. Der dadurch bedingte starke Wärmeübergang an das Kühlwasser ist sowohl wegen seiner Wärmeverluste, als auch insbesondere wegen der stärkeren Belastung des Kühlers sehr störend. Weiter wird bei dieser Anordnung das Auslaßventil durch das frische Gemisch gar nicht mehr gekühlt, seine Erwärmung steigert sich leicht bis zur Rotglut, was sowohl für seine Haltbarkeit denkbar schlecht ist, als auch Veranlassung zu Frühzündungen abgibt.

Man legte deshalb später beide Ventile nebeneinander, Abb. 8, was sowohl die Ersparnis der zweiten Steuerwelle, als auch eine bessere Kühlung des Auslaßventils mit sich brachte. Nur drängen sich die Rohrleitungen und Steuergestänge bei dieser Lage der Ventile sehr zusammen, was ihre Zugänglichkeit und Übersichtlichkeit erschwert. Diese Anordnung ist zur Zeit die verbreitetste. Werden 2 Zylinder in einem Gußstück vereinigt, so werden zweckmäßig beide Einlaßventile nebeneinandergelegt und ihre Zuleitung zu einem gemeinschaftlichen Kanal zusammengezogen, dessen Flanschanschluß dann tiefer oder höher gelegt werden muß wie die Anschlüsse der Auspuffleitungen, damit die Rohrleitungen sich nicht gegenseitig stören.

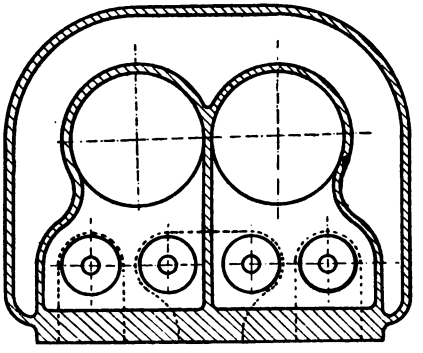


Fig. 8.

Die Anordnung der Rohrleitungen erfordert bei dieser Ventilanordnung überhaupt die größte Aufmerksamkeit, wenn die Bedingungen guter Zugänglichkeit zu den Steuergestängen und den Rohranschlüssen gewahrt sein soll, da sich hier alle Teile dicht aufeinanderdrängen.

Der Vorteil der früher verwendeten selbsttätigen Einlaßventile bezüglich der Gestaltung des Kompressionsraums und guter Kühlung des Auslaßventils hat dazu geführt, stehende Saugventile gleichachsig mit dem Auslaßventil anzuwenden

Digitized by Google

(Abb. 9). Schwierigkeiten macht dabei die Steuerung dieser Ventile. Abb. 9 zeigt die Anordnung mit zwischen geschalteter Schwinge. Sie hat den Vorteil, daß die Nockenwelle nach vorn

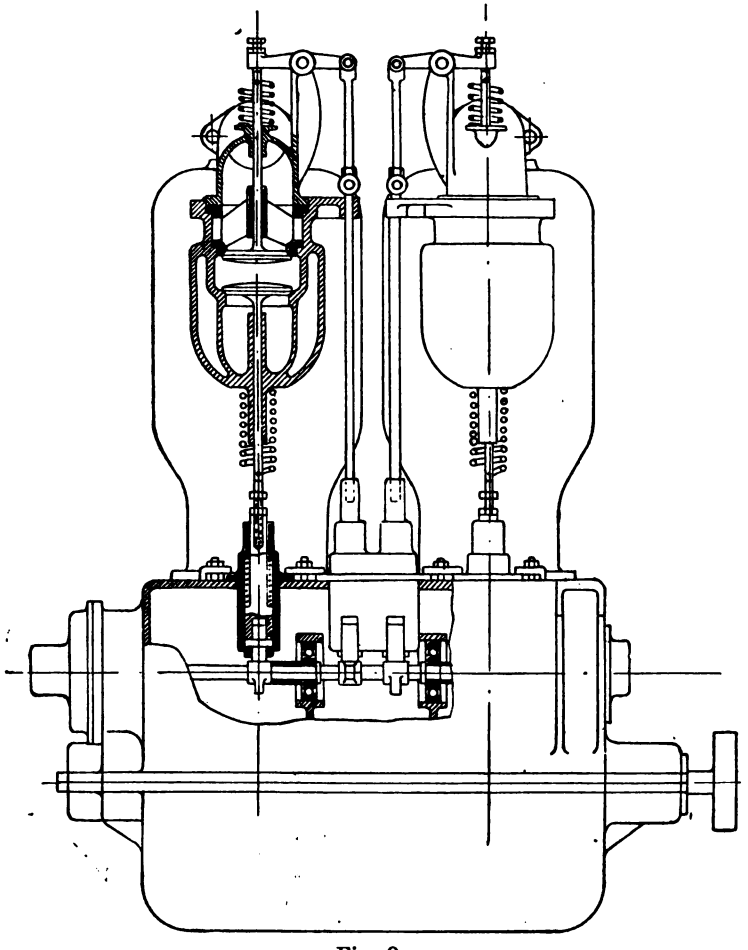


Fig. 9.

herausgezogen werden kann, also nicht bügelartig umfaßt wird wie bei Abb. 10. Der Nachteil der Anordnung liegt in der Viel-

Digitized by Google

gliedrigkeit des Gestänges und in der Notwendigkeit einer besonderen Schmierung der verschiedenen Bolzen.

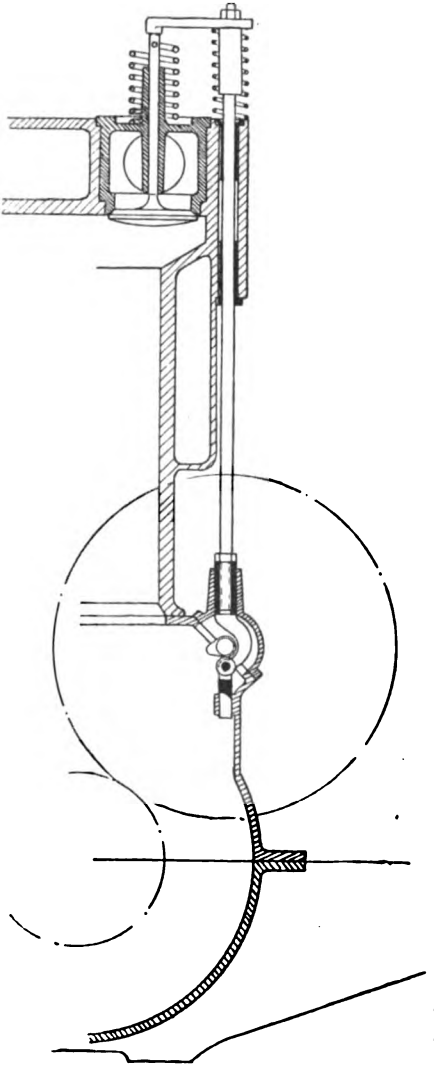


Fig. 10.

Die Zugänglichkeit der Ventile ist eine schlechtere. Bei der Ausbildung des oberen Ventilverschlusses ist dahin zu streben, daß nach Lösen der beiden Befestigungsschrauben Ventilverschluß und Steuerhebel gleichzeitig entfernt werden können, daß also nicht erst Steuerbolzen ausgebaut werden müssen, etwa so wie in Abb. 9 veranschaulicht. Selbstverständlich ist es, daß hierbei das Auslaßventil zum Ausbauen nach oben, durch den Sitz des Einlaßventils hindurch, eingerichtet wird.

Abb. 10 zeigt eine Konstruktion nach amerikanischem Vorbild. Hier ist tunlichste Einfachheit im Gestänge angestrebt. Ein Nachteil ist die Notwendigkeit mit der Steuerwelle weiter von der Kurbelwelle abzurücken, was große Steuerräder zur Folge hat. Die Schmierung der Gleitfläche im Gestänge erfordert eine besondere Schmierleitung, die Steuerwelle muß bügel- oder hakenartig von der Zugstange umfaßt werden, was die Montage derselben sehr erschwert.

Dem Bestreben folgend,

Digitized by Google

möglichst glatte Kompressionsräume mit möglichst geringer Wärme aufnehmender Oberfläche zu schaffen, legt man beide Ventile in den Zylinderkopf. So zweckmäßig eine solche Anordnung bezüglich der thermischen Eigenschaften ist, so sehr wachsen bei ihr aber auch die konstruktiven Schwierigkeiten, wie sie schon beim hängenden Saugventil erörtert sind.

Man ist deshalb verschiedentlich dazu übergegangen, die Steuerwelle über die Zylinderköpfe wegzuführen. Man erreicht dadurch wohl eine denkbar weit gehende Verringerung der bewegten Massen in der Steuerung, was nicht gering anzuschlagen ist, aber die Forderung nach guter Zugänglichkeit der Ventile bedingt teure und komplizierte Anordnung des Steuerwellenantriebes und der Steuerhebel.

Als Vorteil der Anordnung ist neben den thermischen Eigenschaften hervorzuheben, daß die Seiten des Motors zur Anbringung der Rohrleitungen und Hilfsapparate freibleiben.

Die **Schwierigkeiten beim Einformen** und Gießen der Zylinder sind ebenfalls zu untersuchen. Wenn auch bis zum gewissen Grade der Satz seine Richtigkeit hat, daß die heutige hochstehende Gießtechnik alle Schwierigkeiten überwinden kann, so ist doch sehr zu bedenken, daß mit der Schwierigkeit des Gusses die Anzahl der Fehlstücke rasch steigt und daß man bis zur geringsten Wandstärke, die gerade hier angestrebt werden muß, nur bei relativ einfachen Gußstücken gehen kann. Beim Vergleich der bisher betrachteten Konstruktionen ergibt es sich, daß die Anordnung nach Figur 7 die größten Schwierigkeiten bietet, während die Ausbildung nach Figur 10, bei der eine ganze Reihe thermischer Vorteile festgestellt wurde, auch beim Gießen die geringsten Schwierigkeiten macht. Die übrigen Formen stehen in bezug auf Gießschwierigkeiten zwischen diesen beiden Typen.

Insbesondere ist dabei zu beachten, daß alle Zylinderformen die für den Kern des Wassermantels Teilebenen benötigen, leicht dadurch zu unliebsamen Betriebsschwierigkeiten Veranlassung geben, daß sich in diesen Teilebenen, wenn die Kernteile nicht ganz dicht stehen, dünne Gußgrate bilden, die den Umlauf des Kühlwassers erschweren oder unterbinden.

Ein Entfernen dieser Grate durch die schwachen Kernmarken ist meist unmöglich, so daß in solchen Fällen nicht nur die Guß-, sondern auch die Bearbeitungskosten verloren sind, da

Digitized by Google

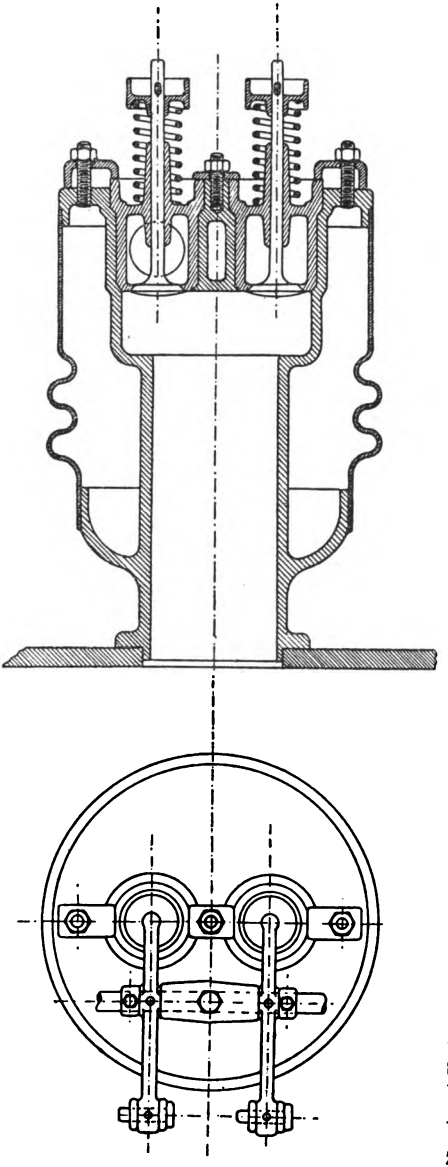


Fig. 11.

die Erscheinung sich meist erst beim Laufen der Maschine auf dem Probestand zeigt.

Das Bestreben nach tunlichster Gewichtsersparnis am Zylindergußstück hat verschiedentlich den Versuch gezeitigt, den Wassermantel durch spezifisch leichte Baustoffe, oder durch Ausführungen aus Blech zu ersetzen. Dieses an und für sich richtige Streben, denn der Wassermantel hat ja nur dicht zu halten aber keine Spannungen zu übertragen, stößt aber auf erhebliche praktische Schwierigkeiten Abb. 11 zeigt den Versuch den Wassermantel durch ein Kupferrohr zu ersetzen. Schwierigkeiten bereitet dabei die Abdichtung, da zwei Baustoffe von verschiedenem Dehnungskoeffizient und verschieden starker Erwärmung vorliegen. Insbesondere die Durchdringung der Ventilkasten gibt komplizierte Durchschneidungen. Am ehesten kann dieses Konstruktionsprinzip noch beim Motor mit Ventilen im Zylinderkopf zur Anwendung kommen, da hierbei wenig-

Digitized by Google

stens ein größeres zylindrisches Stück Wassermantel auszuführen ist.

Für den Automobilmotor wird die Konstruktion zu teuer, man findet sie nur bei Luftschiffmotoren und eventuell Rennmaschinen ausgeführt. Auch die Möglichkeit, die ebene Wand des Wassermantels bei der Vereinigung zweier Zylinder in einem Gußstück durch ein Stück Aluminiumblech zu ersetzen, ist hier anzuführen. Die Dichtung desselben muß durch eine größere Zahl Schnittschrauben bewirkt werden.

Der einzig richtige Weg zur Gewichtsverminderung beim Motor für den Gebrauchswagen der Erfolg verspricht, bleibt eben nur Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit und der spezifischen Leistung.

Steuerung des Zylinders.

Als Steuerorgan ist ebenso wie bei der stationären Gasmaschine das einfache Tellerventil am meisten in Anwendung. Als Baustoff dient ein harter Stahl, wegen der Kleinheit Schaft und Teller meist aus einem Stück. Lange Führung der Ventilspindel ist konstruktiv stets leicht zu erreichen. Beim Auslaßventil ist gute Kühlung auch der Ventilspindel anzustreben, durch möglichst dichtes Heranziehen des Wassermantels.

Besonders eingeschraubte Führungen (Abb. 12) ermöglichen die Auswechslung, sind aber teuer und kühlen nicht so gut, wie eingegossene Führungen.

Die Gasgeschwindigkeit in den Ventilen läßt man unter Zugrundelegung der maximalen Kolbengeschwindigkeit zu 30—60 m/S zu, so daß Ventildurchmesser von 35—55 m/m bei den üblichen Zylinderbohrungen von 100 m/m bis 140 m/m entstehen.

Die Stärke der Ventilteller kann nach Güldner zu:

$$\delta = \sqrt{\frac{r^2}{30}}$$

in cm gewählt werden, wenn r den äußeren Radius der Ventilplatte bezeichnet.

Besondere Ventilsitze nach Abb. 9 sind bei stehenden Ventilen unerläßlich, um die Ventile von außen einbauen zu können. Nach Abb. 11 wird eine bessere Kühlung erzielt, Ausführung nach Abb. 10 ergibt billigere Herstellung und leichteres Einsetzen.

Der Nachteil der teueren Herstellung der eingesetzten Sitze

Digitized by Google

wird im Betriebe durch die bequeme Auswechslung beim Defektwerden wieder ausgeglichen.

Die Ventilfedern werden der Einfachheit halber am besten nach Abb. 12 in ein Langloch der Spindel eingesteckt, dadurch entfallen die bei stationären Maschinen üblichen besonderen Teller mit ihren Gewinden oder Splinten und Sicherungen. Das Ende der Ventilfeder hat dabei allerdings höhere

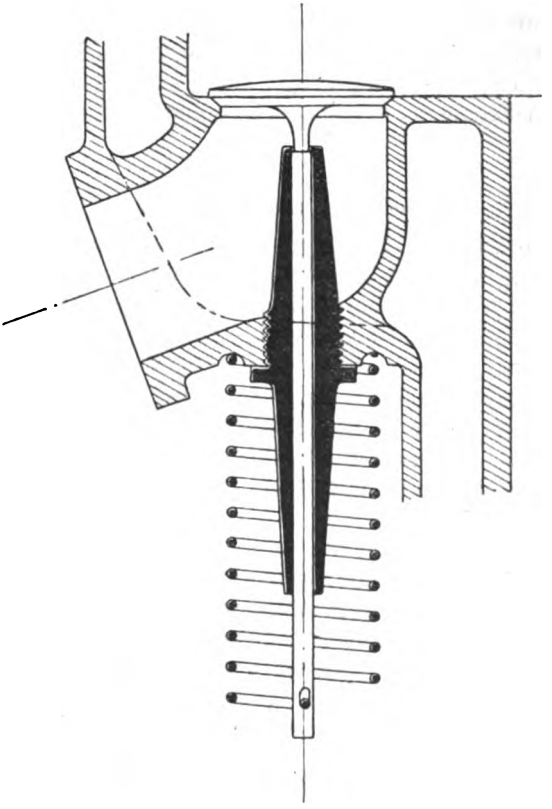


Fig. 12.

Beanspruchungen auszuhalten und der Bruch pflegt auch dort zu erfolgen. Um ihn tunlichst zu vermeiden, muß das Ende weicher bleiben als die Windungen.

Digitized by Google

Die Berechnung der Federn erfolgt wie bei den stationären Gasmaschinen auf Beschleunigung bei der Schließbewegung und einem Zuschlag für die Reibung. Wie dort muß die Feder bei geschlossenem Ventil einem gewissen Druck auf Öffnen des Ventils widerstehen, gewöhnlich 0,5 atm, damit das Auslaßventil nicht durch den Auspuffdruck eines anderen Zylinders während des Saughubs aufgedrückt wird. Alle Federn desselben Motors sollen wenn irgend möglich gleich sein, damit eine Reservefeder genügt.

Um bei kleinem Ventilhub genügend große Querschnitte für den Einlaß bei sehr schnell laufenden Motoren (Schnellläufer bis 2400 Umdrehungen) zu schaffen, verwendet man wohl auch mehrsitzige Einlaßventile (Ringventile). Wie sich dieselben im Betriebe verhalten, darüber liegen noch nicht genügend Erfahrungen vor. Unzweifelhaft richtig ist auf jeden Fall das Bestreben das Ladegewicht zu vergrößern, da die Motorleistung proportional damit steigt.

Triebwerkteile.

Wenn schon beim Aufbau des gesamten Motors die Gewichtsersparnis ein wichtiger Gesichtspunkt ist, so gilt er bei den Triebwerkteilen in vielfachem Maße. Hier ist selbst die Ersparnis die sich nach Grammen bemißt wertvoll, da eine einfache Steigerung der Kolbengeschwindigkeit die freien Massenkräfte im Quadrate steigert. Wie weit man darin schon gekommen, ergibt sich aus dem Vergleich mit den Werten stationärer Maschinen. Bei stationären Gasmaschinen ist das Gewicht der Triebwerkteile auf 1 qcm Kolbenfläche bezogen 0,35 kg, bei Leichtmotoren im Mittel 0,045 kg.

Ausführungen von Kolben zeigen die Figuren 13 bis 18. Die Kolbenboden werden meist gewölbt ausgeführt, um bei geringer Wandstärke genügende Festigkeit zu erreichen. Durch die Wölbung wird die Wärme aufnehmende Fläche unmerklich vergrößert.

Aufmerksamkeit ist darauf zu verwenden, daß der Kolbenbolzen den Kolben beim Eintreiben nicht deformiert. Dünne Kreuzrippen oder kreisförmige Rippen dienen diesem Zweck am besten.

Digitized by Google

Schmiernuten oder kreisförmige Aussparungen am Kolbenkörper zur Mitnahme des Öls sind erforderlich.

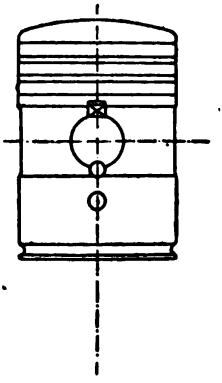


Fig. 13.

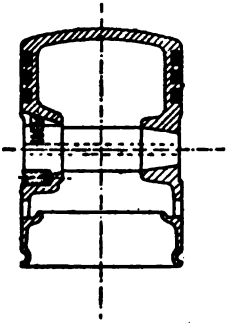


Fig. 14.

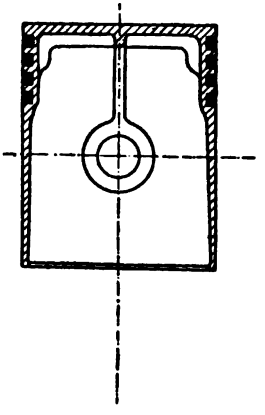


Fig. 15.

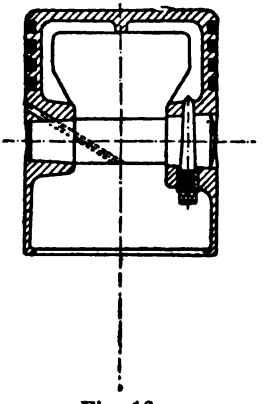


Fig. 16.

Die Zahl der Kolbenringe beträgt 2—4. Sie werden am besten von Spezialwerken bezogen. Ihre Dicke beträgt 3,5 bis 4,5 m/m, ihre Breite 5—7 m/m.

Der Kolbenbolzen mit glasharter Oberfläche wird wegen der Gewichtsersparnis fast stets durchbohrt hergestellt. Seine Befestigung im Kolben und deren Sicherung bietet wegen der Kleinheit der Teile noch mehr konstruktive Schwierigkeiten

Digitized by Google

als bei stationären Maschinen. Man findet neben den im stationären Maschinenbau üblichen Ausführungen häufig einfach zylindrischen Paßsitz, die Sicherung gegen seitliche Verschiebung und gegen Drehen durch glatte oder Gewindestifte durchgeführt, auch einfach dadurch, daß der letzte Kolbenring über ihn weggreift.

Abb. 17 und 18 ist der Kolben einer Benz-Rennmaschine.

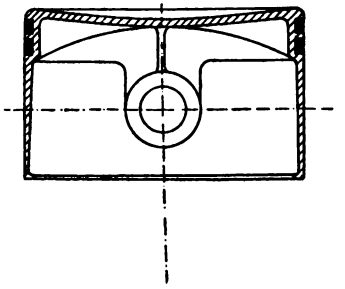


Fig. 17.

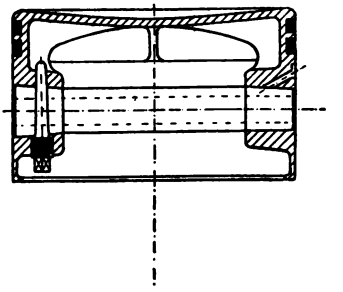


Fig. 18.

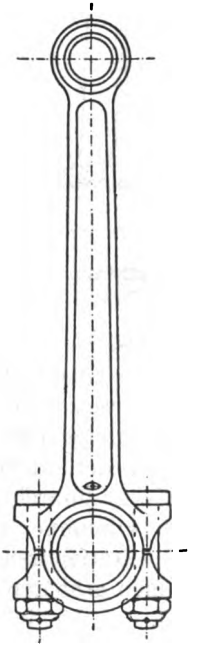


Fig. 19.

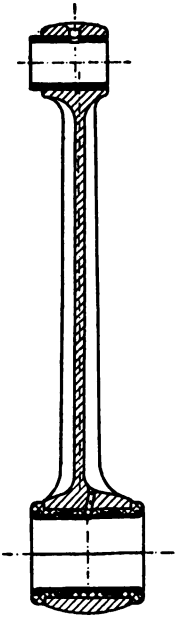


Fig. 20.

Digitized by Google

Die **Schubstangen** werden aus weichem Stahl meist durch Pressen in I-Form ausgeführt, mit Stegstärken von 2—4 m/m, Abb. 21 bis 24. Auch Stangen mit Rohrquerschnitt und Stahlgußstangen sind in Anwendung. Das Kolbenbolzenlager ohne

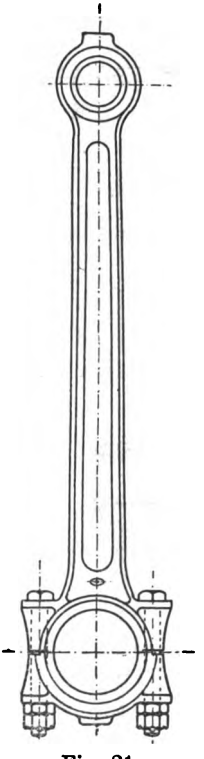


Fig. 21.

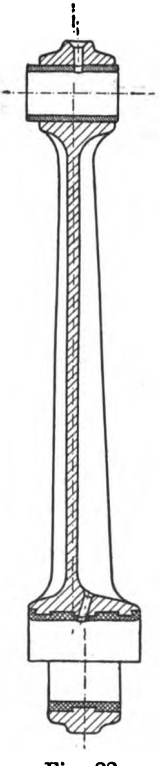


Fig. 22.

Nachstellung wird zweckmäßig mit glasharter Stahlbüchse ausgerüstet und zur Schmierung mit entsprechend großen Bohrungen oder Ausschnitten auf der Kolbenseite versehen. Das von der Kurbel verspritzte und vom Kolben niederlaufende Öl sorgt dann für genügende Schmierung. Schmierung durch den hohlen Bolzen hindurch, vermittels besonderer Ölpumpe, die das Öl in der unteren Totlage zuführt, wie bei stationären stehenden Motoren, findet sich ebenfalls bei Maschinen größerer Leistungen in Anwendung.

Digitized by Google

Das Kurbelzapfenlager wird zweckmäßig durch Ausgießen des entsprechend verbreiterten Schubstangenkopfes mit Weißmetall geschaffen. Aufmerksamkeit ist darauf zu verwenden, daß eine solide Druckübertragung vom Schaft auf den Kopf erfolgt, so daß tatsächlich die Länge des Kopfes auch trägt, zumal wenn eine unsymmetrische Ausbildung des Kopfes bei Zusammengießen zweier Zylinder nötig ist. Besondere Schalen

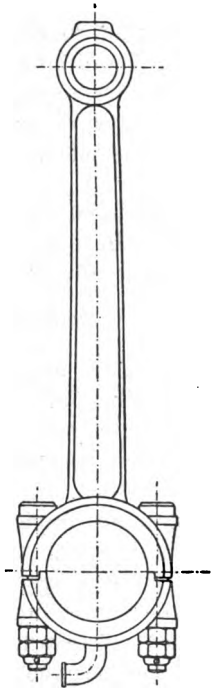


Fig. 23.

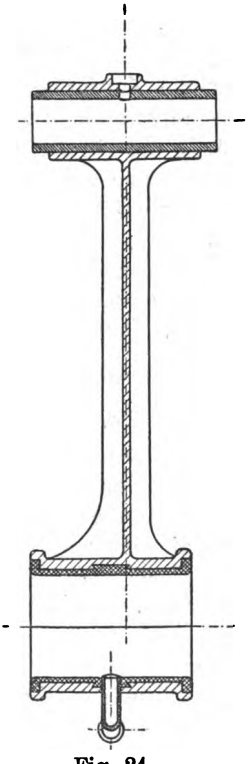


Fig. 24.

werden noch häufig in den Kopf eingesetzt, sie verteuern die Konstruktion unnötig und machen sie schwerer als notwendig. Das Wiederausgießen des Kopfes nach entsprechender Abnützung wird zweckmäßig von der liefernden Fabrik ausgeführt und um dies zu ermöglichen, sind Ersatzstangen bereit zu halten.

Digitized by Google

Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Berechnung und konstruktive Durchbildung der Deckelschrauben, sowie der Deckel. Dieselben müssen bei den hohen Kolbengeschwindigkeiten erhebliche Kräfte übertragen. Sie sind aus weichem Stahl von hoher Dehnung herzustellen, damit sie bei den durch die Deformation bedingten Zusatzspannungen nicht brechen, sondern eher verbiegen, da ein Bruch an diesen Teilen meist die Zerstörung der ganzen Maschine bewirkt.

Die Kurbelwelle.

Durch das Zusammengießen zweier Zylinder zu einem Gußstück, das zurzeit die weitaus verbreitetste Anordnung ist, sind die Abstände der beiden Schubstangenmitten festgelegt. Damit die Mittentfernung der Auflager nicht zu groß wird, pflegt man die Kurbelzapfenlänge unsymmetrisch zu verteilen. Abb. 3, 4, 22, 24.

Die höchste Auflagepressung berechnet aus dem Verpuffungsdruck, den man zu 15 atm. annehmen kann, läßt man mit 30 bis 40 kg/qcm zu. Den Koeffizienten in der Formel für Warmlaufen $l=\frac{P.n}{k}$ findet man zu k=70000—100000 (bei Rennmaschinen k bis 140000). Für n die höchsten Umlaufzahlen, mit denen der Motor laufen kann eingesetzt, P aus der Kolbenfläche mal den mittleren Druck berechnet. Die genaue Nachrechnung der auftretenden Spannungen ist wegen der statischen Unbestimmtheit der mehrfach gelagerten Welle etwas umständlich.

Beim ersten Entwurf pflegt man deshalb zunächst jede Doppelkröpfung zwischen 2 Lagern als Balken auf 2 Stützen aufzufassen und nach dieser Annahme den vorläufigen Zapfendurchmesser festzustellen Als Biegungsbeanspruchung (unter vorläufiger Vernachlässigung aller übrigen Beanspruchungen) setzt man 800—1000 kg/qcm in diese Näherungsrechnung ein.

Als spezifische Belastung der Wellenlager findet man k=12—20 kg/qcm.

Die Verwendung von Kugellagern an Stelle der Gleitlager für die Kurbelwellen hat viel Bestechendes. Weniger wegen der erzielbaren Verringerung der Lagerreibung, die bei gut ausgeführten Gleitlagern ebenfalls sehr gering ist, als vielmehr wegen einer Reihe konstruktiver Bequemlichkeiten. Die Lager-

Digitized by Google

entfernung ließe sich verkürzen, die Kugellager sind anspruchslos in bezug auf Schmierung und endlich sind sie unempfindlicher gegen die unvermeidlichen Verbiegungen der Wellen als Gleitlager; daß sich der Motor wesentlich leichter ankurbelt ist ebenfalls eine angenehme Zugabe. Trotz all dieser Vorteile verhält sich der Automobilbau ziemlich ablehnend gegen die Einführung dieser an allen übrigen Stellen der Motorwagen viel verwendeten Lagerkonstruktion. Zum Teil mag die Abneigung noch von den Zeiten herrühren, wo man die Laufringe der Lager mit einer Einfüllstelle versah, die an eine Stelle gelegt werden mußte, die keinen Druck bekam, eine Bedingung, die beim Kurbelwellenlager nicht zu erfüllen ist. Die neueren Laufringsysteme weisen diesen wunden Punkt nicht mehr auf, trotzdem scheinen sich beim Gebrauch Übelstände einzustellen, da verschiedene Fabriken, die solche Lager versuchsweise einbauten, wieder zum Gleitlager zurückgekehrt sind.

Der **Schmierung** der Triebwerksteile ist vom Konstrukteur große Aufmerksamkeit zu widmen. Eine Übertragung der bei ortsfesten Maschinen gebräuchlichen Tropföler ist nicht angängig, da sie zuviel Aufmerksamkeit erfordern. Man begnügt sich meist damit, im Maschinengestelle ein Ölbad zu erhalten, das von der rasch umlaufenden Kurbel herumgeschleudert wird, so daß alle bewegten Teile in einem feinen Ölnebel gehüllt sind. Für die Kolbenbahn, den Kreuzkopfbolzen, die Lager und die Steuerwellen ist so reichlich gesorgt. Der Kurbelzapfen selbst macht jedoch einige Schwierigkeiten, da die hohe Zentrifugalkraft alles Öl abschleudert. Reicht die untere Lagerschale nicht über die ganze Zapfenbreite (Abb. 22), so ist das schon eine recht erhebliche Unterstützung. Der Konstrukteur kann aber für diese wichtige Stelle nie zu viel sorgen. Schöpfeinrichtungen, so weit sie aus Blech bestehen, sind nicht zweckmäßig, da ihre Wirksamkeit fraglich, die Gefahr die sie beim Brechen erzeugen erheblich ist. Bohrungen, die das an der Stange herablaufende Öl beim Aufwärtsgang dem Zapfen zuführen, sind leicht anzubringen und nicht kostspielig. Ebenso sind Bohrungen und entsprechende Nuten, die das an den Kurbelarmen hochkletternde Öl fangen und dem Zapfen durch Bohrungen zuführen, zweckmäßige und billige Mittel. Die bei ortsfesten Maschinen allgemein in Anwendung stehende Zentrifugalschmier

Digitized by Google

ung läßt sich mit Vorteil und ohne Komplikationen zu ergeben, auch auf den Leichtmotor übertragen (Abb. 3).

Als prinzipieller Nachteil des Ölbades bleibt der Umstand bestehen, daß das mit Metallspänen verschmutzte Öl immer wieder zu den Lagerstellen gebracht wird. Hauptsächlich bei neuen Maschinen muß deshalb ein häufigeres Erneuern des Öles vorgenommen werden.

Um dem zuletzt genannten Übelstand besser begegnen zu können, geht man vielfach dazu über, durch eine kleine Ölpumpe das Öl zum dauernden Umlauf zu bringen, wobei man den Vorteil hat, dasselbe in der Druckleitung durch ein Filter laufen zu lassen.

Nach Patent Rumpler kann man die Zuführung des so gereinigten Öls durch ein Rohr bewirken, das an allen zu schmierenden Stellen eine kleine Bohrung besitzt, so daß sich ein dauernder Ölstrahl auf diese Stellen ergießt. Der Nachteil der Ölpumpe besteht darin, daß die Ölleitungen durch die heftigen Erschütterungen während der Fahrt leicht undicht werden können, in welchem Falle die Lage dann wesentlich schlechter ist, als bei Schmierung durch ein Ölbad.

Einen Mittelweg kann man in der Weise einschlagen, daß man durch eine Ölpumpe, oder von einem höher gelegenen Behälter gespeist, oder endlich durch Unterdrucksetzung eines Vorratsbehälters nur den Lagerstellen stets frisches Öl zuführt. Sorgt man dann für eine richtige Weiterleitung dieses Öls durch den Kurbelzapfen, so hat man wenigstens die wichtigsten Teile gut versorgt, und dabei doch die wünschenswerte Einfachheit nicht zu weit verlassen. Bei allen Ölleitungen ist an das Einfrieren im Winter und gute Lagerung zu denken, weshalb ihre Anbringung nicht der Werkstätte überlassen bleiben soll, sondern vom Konstrukteur durchdacht und vorgezeichnet werden soll.

Maschinengestelle.

Das Gestelle beim Wagenmotor wird fast ausnahmslos so ausgebildet, daß es unmittelbar am Fahrzeugrahmen befestigt werden kann, es muß also die Funktionen des Einhüllens der Triebwerkteile und die der Tragkonstruktion erfüllen und dabei Platz für die Anbringung der Nebenapparate gewähren. Der Zusammenbau verlangt eine horizontal verlaufende Teilfuge für den Einbau der Kurbelwelle. Die Zugänglichkeit zu der Kurbel-

Digitized by Google

welle soll ferner möglichst ohne große Demontagen möglich sein. Allen diesen Forderungen gleich gut zu genügen ist fast unmöglich.

Die Ausbildung nach Figur 25 scheint sie ziemlich vollkommen zu erfüllen, da hier der untere Gehäuseteil entfernt, eine

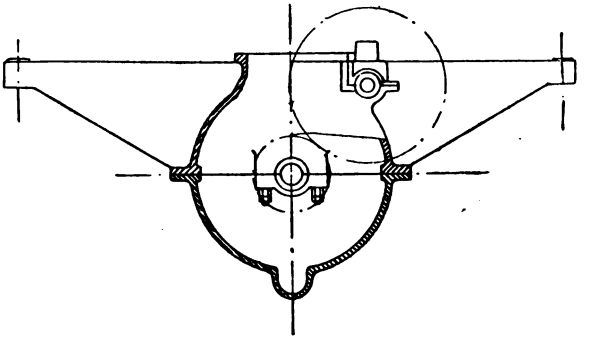


Fig. 25.

Zugänglichkeit von unten zur Kurbelwelle ermöglicht; (Abb. 7). zeigt eine große Handluke, die dem Nachsehen der Kurbelwelle dient. Praktisch wird der Vorteil der beiden Konstruktionen aber dadurch wieder fast zunichte, daß die Zugänglichkeit von unten eigentlich nur in der Montagewerkstatt bei Vorhandensein einer entsprechenden Grube, über die die Maschine gefahren werden kann, vorhanden ist. Auf der Landstraße, selbst in der Wagenhalle ist sie so gut wie wertlos, da Arbeiten an der Kurbelwelle beim Liegen unter dem Wagen kaum auszuführen sind. Dazu kommt als erschwerend, daß man immer mehr dazu übergeht, die Maschine nach unten hin vermittels eines durchlaufenden Blechs dicht abzuschließen, um den Motor und seine empfindlichen Nebenteile den Schmutzspritzen und dem Staub zu entziehen. Bedenkt man weiter, daß die Kurbelwelle mit zu den sichersten Triebwerkteilen gehört und daß bei ernsteren Defekten ein völliger Ausbau doch unvermeidlich ist, so ist der Verlust dieses scheinbaren Vorteils bei Ausbildung nach Figur 26 u. 27 nicht zu hoch anzuschlagen. Die Zugänglichkeit zur Kurbelwelle verlangt hier allerdings ein Abbauen des Oberteils nebst Zylindern. Da der Einbau des Motors von oben an und für sich am natur

Digitized by Google

gemäßesten ist und das Unterteil mit seinen kräftigen Tragarmen der schwerste Teil des ganzen Gestelles ist, so erscheint

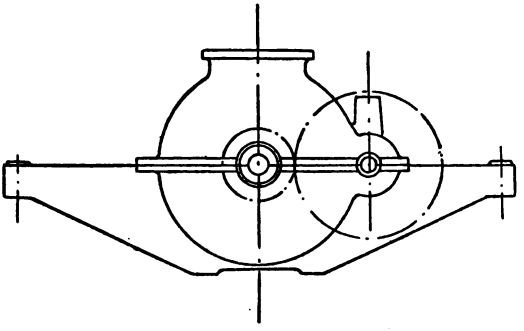


Fig. 26.

diese Ausführung als durchaus zweckmäßig. Daneben geben die breiten Flächen der Tragarme bequeme Befestigung der Nebenapparate, deren Ein- und Ausbau von oben ohne viel Umstände möglich sein muß.

Überlegung erfordert noch die Schnittebene der Steuerwelle. Konstruktiv am bequemsten wäre es, sie in die horizontale Schnittebene durch die Kurbelwelle zu legen, was auch häufig ausgeführt wird (Abb. 26). Dem dadurch erreichten Vorteil geringster Bearbeitungskosten steht allerdings der Nachteil gegenüber, daß die Steuerwelle seitlich weit von der Wel e entfernt, weit ausladende Ventilkammern mit schlecht gestaltetem Kompressionsraum bedingt.

Um diesen Übelstand zu vermeiden, legt man die Steuerwelle meist über Kurbelwellenmitte, erhält dann aber eine zweite Schnittfuge, deren Lage für eine bequeme Bearbeitung günstig zu wählen nicht leicht fällt Abb. 10, 25 u. 27 zeigen einige Möglichkeiten. Ein horizontaler oder vertikaler Schnitt ist bezüglich der Bearbeitung vorzuziehen, Winkelschnitte (Abb. 25) machen Schwierigkeiten bei der Dichtung. Zweckmäßig geht man mit der Höhenlage der Steuerwelle so weit von der unteren Teilfuge ab, daß die Antriebsräder der Steuerwellen ganz oberhalb der unteren Schnittebene liegen, da sonst für die Kapselung dieser Räder Schwierigkeiten entstehen.

Zweckmäßig ist es, der zweiten Schnittfuge ganz aus dem

Digitized by Google

Wege zu gehen, indem man die Steuerwelle so einrichtet, daß sie samt ihren Lagern nach vorn, gleichachsig mit der Kurbelwelle

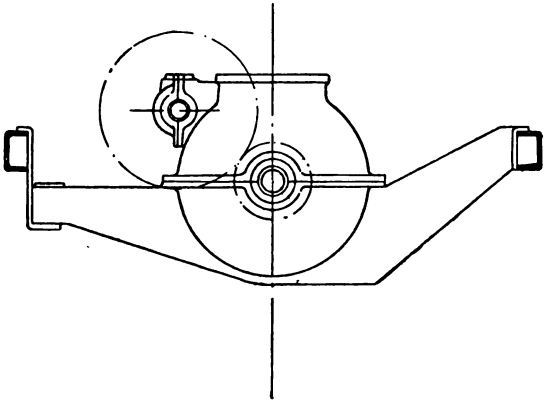


Fig. 27.

herausgezogen bzw. fertig montiert eingeschoben werden kann. Voraussetzung dafür ist, daß die Steuergestänge die Welle nicht bügelartig umgreifen und daß Kugellagerung der Welle mit ab- bzw. zunehmenden äußeren Laufringdurchmesser vorgesehen ist (Abb. 7 u. 9).

Da das Gestelle das schwerste Gußstück ist, ist eine Untersuchung des zu verwendeten Baustoffes im Hinblick auf Gewichtsersparnis geboten. Die verwickelte Form läßt nur gießbare Baustoffe wählbar erscheinen.

Zur Verfügung stehen dem Konstrukteur Gußeisen, Bronze, Stahlguß und Aluminiumlegierungen. Reinaluminium ist zu weich, es schmiert auch beim Fräsen, so daß es als ungeeignet ausscheidet. Eine Kritik dieser Baustoffe hat Preis, spez. Gewicht, dünnste erreichbare Wandstärke und Festigkeitseigenschaften zu umfassen. Bei der Festigkeit kommt es weniger auf große Zugfestigkeit, als insbesondere auf die Größe der Deformationsarbeit an, also auf einen Begriff ähnlich der Gütezahl beim Kesselblech, da der Rahmen während der Fahrt bei der üblichen Aufhängung starke Deformationen auch auf das Maschinengestelle überträgt.

Eine zuverlässige Gegenüberstellung der einzelnen Baustoffe läßt sich natürlich nur auf Grund eines unmittelbaren Vergleichs

Digitized by Google

der Gestelle, die für den gleichen Motor und für die verschiedenen Baustoffe entworfen sind, vornehmen. Vergleicht man nur auf Grund der spezifischen Gewichte und der kleinsten erreichbaren Wandstärken, indem man das in Gußeisen ausgeführte Gestelle = 1 setzt, so ergibt sich:

Baustoff	spez. Gewicht	kleinste Wandstärke	Preis f. 100 kg	Festigkeit
Gußeisen	7,25	4 m/m	40— 50 M.	1250 kg/qcm
Stahlguß	7,80	6 „	180—200 „	5000 „ „
Bronze	8,50	3 „	200—280 „	4000 „ „
Nickelaluminium	2,95	4 „	400—500 „	2000 „ „

	Verhältnis der Wandstärken	Verhältnis der Gewichte	Verhältnis der Kosten
Gußeisen	1,00	1,00	1,00
Stahlguß	1,50	1,65	8,00
Bronze	0,75	0,88	4,40
Nickelaluminium	1,00	0,41	4,10

	Verhältnis der Festigkeit
Gußeisen	1,00
Stahlguß	6,00
Bronze	2,40
Nickelaluminium	1,60

Aus den Vergleichszahlen folgt, daß Gußeisengestelle dei billigsten sind. Nickelaluminium ist rund 4mal so teuer, aber 60% leichter bei 60% höherer Festigkeit. Am teuersten sind Stahlgußgestelle, sie sind doppelt so teuer wie solche aus Aluminiumlegierung und 4mal so schwer.

Man findet entsprechend diesen Vergleichszahlen Nickelaluminium dort in Anwendung, wo geringes Gewicht ausschlaggebend. Insbesondere bei Flugzeugmaschinen und Rennmaschinen, aber auch viel bei stärkeren Tourenwagen in besserer Ausführung. Gußeisen dient wo geringer Preis ausschlaggebend ist, also beim Nutzwagen. Stahlguß bei Lastwagen ohne Gummibereifung, weil dort die größere Deformationsarbeit des Materials bei den harten Stößen, denen der Motor ausgesetzt ist, unerläßlich ist. Bronze scheidet, da sie teuer und wenig leichter wie Gußeisen ist, aus.

Stets muß der Konstrukteur aber bei Verwendung von Gußeisen, wie auch Nickelaluminium daran denken, daß diesen

Digitized by Google

Baustoffen keine größere Deformationen auf die Dauer zugemutet werden dürfen, wenn nicht Brüche die Folge sein sollen. Dieser Gesichtspunkt ist hauptsächlich beim Aufhängen des Motors im Fahrzeuggestell zu berücksichtigen. Theoretisch richtig wäre es, den Motor in 3 Punkten zu stützen und dafür zu sorgen, daß an den Auflagepunkten auch keine Einspannmomente auftreten. Eine solche Aufhängung wurde früher unter Verwendung eines Querträgers, der für den Motor den 3. Stützpunkt abgab, meist ausgeführt, sie findet sich auch noch in Anwendung. Im Interesse der Vereinfachung des Hauptrahmens hat man diesen Querträger aber jetzt meist weggelassen und macht zum Ausgleich dessen den ganzen Rahmen steifer (aus Stahlblech gepreßte Rahmen). Es wird also das Motorgestell gleichzeitig zur Querversteifung des Rahmens herangezogen. Unbedenklich ist diese Ausführung nicht, denn wenn auch die Stahlblechrahmen, wie man sie heute fast ausschließlich anwendet, in der Längsrichtung nur wenig durchbiegen, so sind sie gegen das Windschiefwerden bei dem Überfahren einseitig auftretender Hindernisse oder Löcher nicht genügend steif zu bekommen. Je länger der Motor baut, um so stärker muß er diese Deformationen mit seinem Gestelle mitmachen.

Die gewöhnliche Ausführung der Aufhängung besteht darin, daß 4 Tragarme nach Abb. 28 zur Anwendung kommen. Dabei ist es wichtig, daß je ein Schenkel des Tragarmes sich als volle Wand durch das Gestelle fortsetzt, um die nötige Steifigkeit zu ergeben.

Man hat unter weitergehender Heranziehung des Motorgestelles zur Versteifung des Fahrzeugrahmens dasselbe so

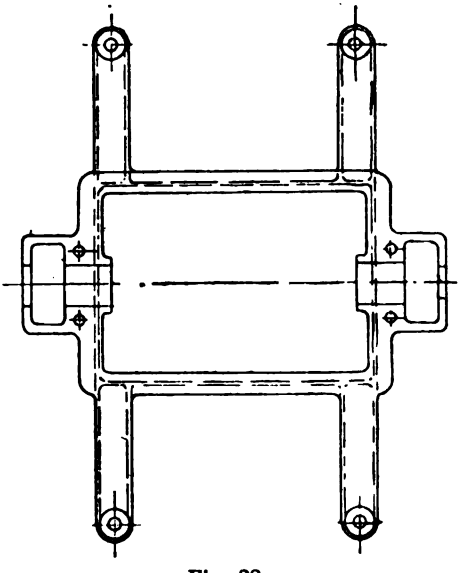


Fig. 28.

Digitized by Google

ausgebildet, daß seitlich angegossene, plattenförmig ausgebildete Tragarme den ganzen Raum zwischen den Längsträgern abdecken, also gleichzeitig einen Abschluß des Motors nach der Fahrbahn zu bilden. Man erreicht dadurch bequemen Platz für die Aufstellung der Hilfsapparate; bezüglich der übertragenen Deformationen ist die Konstruktion aber noch bedenklicher.

Den Abschluß nach unten bildet man zurzeit vermittels eines über die ganze Rahmenlänge durchgehenden Bleches von geringer Stärke (eventuell Aluminium), das mit den Querträgern dicht verschraubt ist.

Es wäre naheliegend, dieses Blech als Stahlblech kräftiger auszubilden und ihm gleich die Funktion des Tragens des ganzen Motors zu überweisen. Das Motorgehäuse brauchte dann bloß einhüllende Funktionen zu übernehmen. Solche Konstruktionen sind von französischen Konstrukteuren zur Anwendung gebracht worden. Der Wegfall der großen Tragarme bringt soviel Gewichtsersparnis, daß die Konstruktion im gesamten nicht allzu erheblich schwerer ausfällt als die übliche. Sie wäre ideal zu nennen, wenn man die Blechstärke an den Stellen, wo keine Kräfte zu übertragen sind, verringern könnte.

Damit beim Befahren längerer Steigungen nicht die vorderen Kurbeln von Öl entblößt werden, läßt man fast stets eine Zwischenwand zwischen 2 Zylindern durch das Gestelle durchgehen, vielfach auch zwischen jedem Zylinder. Im letzteren Falle natürlich nur soweit, als die Kurbelwelle das zuläßt (Abb. 29). Diese Ver-

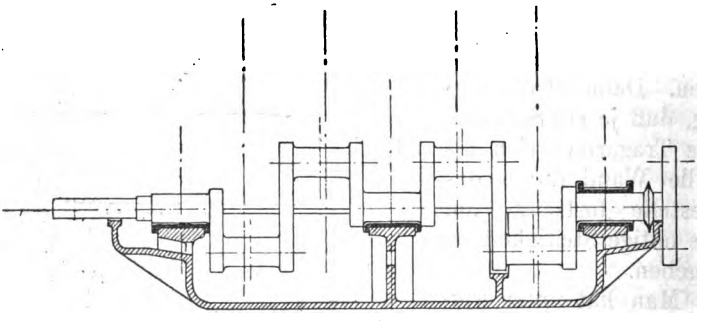


Fig. 29.

rippung ist sehr zweckmäßig, um die Kräfte ,die von den Zylindern übertragen werden, sicher auf das Gestelle weiter zu leiten.

Digitized by Google

Die Übertragung der Kolbenkräfte auf die Lager ohne große Biegungsbeanspruchung verlangt ein möglichst kleines Maß für die Entfernung von Mitte Zylinder bis zur vertikalen Tragwand des Gestelles und gute Verrippung an dieser Stelle.

Rohrleitungen.

Die zweckmäßige Anordnung der Rohrleitungen muß beim Entwurf der Zylinder eingehend überlegt werden, da gute Zugänglichkeit zu den Ventilen und Nebenapparaten mit die erste Betriebsbedingung ist und diese wieder von der Lage der Rohrleitungen abhängt. Am bequemsten für die Rohrleitungen ist die Ventilanordnung nach Abb. 7, da hier auf jeder Seite nur eine Leitung unterzubringen ist, wie Figur 30 zeigt.

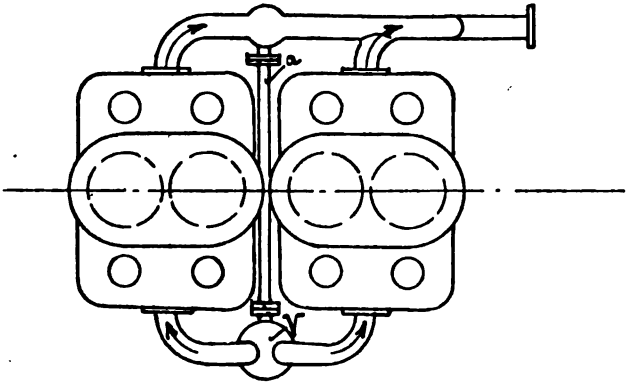


Fig. 30.

Am unbequemsten ist Ventilanordnung (Fig. 8), da sich hier die beiden Rohrleitungen auf der gleichen Seite zusammendrängen, wo die Steuergestänge liegen. Lösungsmöglichkeiten zeigen die Fig. 31, 32 u. 33. Von denen 32 die Saugleitung zwischen den beiden Zylindergußstücken liegend zeigt, was kürzeste Länge derselben, aber schlechteste Zugänglichkeit ergibt. Abb. 33 zeigt die Saugleitung über die Zylinder weggelegt, was wieder große Länge dieser Leitung bedingt. a ist dabei eine Anwärmeleitung für den Vergaser.

Günstig für die Anbringung der Rohrleitungen ist auch die

Digitized by Google

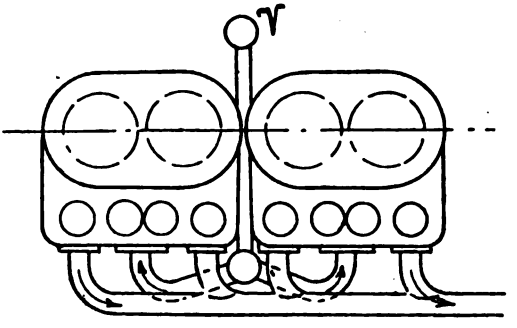


Fig. 31.

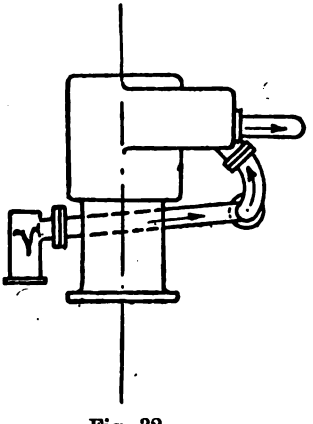


Fig. 32.

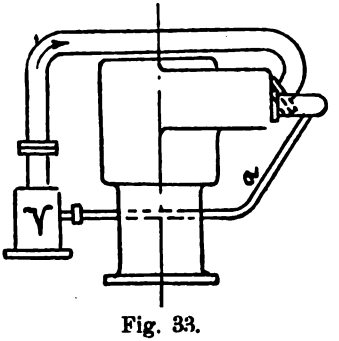


Fig. 33.

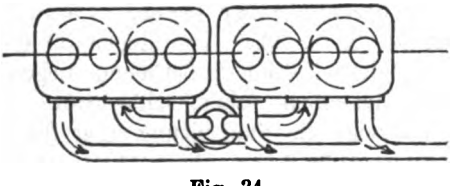


Fig. 34.

Digitized by Google

Ventilanordnung nach Figur 9—11. Man legt entweder, wie Abb. 34 zeigt, die Rohrleitungen auf eine Seite, die andere Seite bleibt dann für die Steuerung frei, oder man kann auch auf jede Seite eine Rohrleitung legen, was die Zugänglichkeit zu den Steuerungen allerdings wieder erschwert.

Bei Ansauge- und Auspuffleitungen sind scharfe Ecken zu vermeiden, um die Widerstände tunlichst klein zu halten. Die Flansche sind so zu legen, daß man bequem und ohne einen Spezialschlüssel zu benötigen an die Schrauben herankann. Ovale Flanschformen mit 2 Schrauben und diese in eine schräge Ebene gelegt herrschen vor. Eine gute Gasführung läßt gegossene Verbindungsstellen zweckmäßig erscheinen. Lötverbindungen sind bei den Rohrleitungen wegen der starken Erschütterungen weniger zuverlässig, bei den Auspuffleitungen auch wegen der hohen Temperatur nicht angebracht. (Dieselbe wird bei hoher Motorbelastung häufig glühend.) Autogen geschweißte eiserne Leitungen ermöglichen gute Formgebung bei großer Dauerhaftigkeit und geringem Gewicht.

Die Saugleitung wird zweckmäßig wie in den Leitungstypen angegeben so ausgeführt, daß jeder Zylinder gleiche Saugwiderstände hat. Der Vergaser bekommt eine von der Auspuffleitung abzweigende Anwärmeleitung, um bei kaltem Wetter das Verdampfen des Benzins zu erleichtern. Näheres darüber bei Vergasern.

Die Querschnitte der Leitungen sollen möglichst groß gewählt werden, um die Ansaug- und Ausschubwiderstände möglichst klein zu halten, da diese die spezifische Motorleistung stark beeinflussen. Nach Messungen von Riedler[1]) lag der Verlust der Auspuffleitung einschließlich Schalldämpfer bei einem von ihm eingehend untersuchten 20/30 PS. Renault-Gebrauchswagen zwischen 8,5—12,5% der Motornutzleistung, wobei die Rohrleitungsverluste allein 45—75% dieser Verluste ausmachen (mittlere Gasgeschwindigkeit 56 m/S).

Rechnet man in der bei stationären Maschinen üblichen Weise, die Gasgeschwindigkeit in der Ansaug- und Auspuffleitung nach der mittleren Kolbengeschwindigkeit für ausgeführte Motoren nach

$$v = \frac{2.s.n}{60} \cdot \frac{F}{f},$$

[1]) Wissenschaftliche Automobil-Wertung. Verlag Oldenburg 1911.

Digitized by Google

wenn dabei F = Zylinderquerschnitt, f = Rohrquerschnitt, v = Gasgeschwindigkeit bedeutet, so erhält man bei Einsetzung der normalen Umlaufzahlen Werte von v zwischen 30—60 m/S. Die unteren Werte sind zweckmäßig einzuhalten, da ihre Verwirklichung keine erhebliche konstruktive Schwierigkeiten macht und die spezifische Motorleistung erhöht, indem einesteils weniger Abgase im Zylinder verbleiben, andererseits das angesaugte Arbeitsgemisch pro Füllung vergrößert wird.

Am Gewicht der Rohrleitungen dadurch zu sparen, daß man ihren Querschnitt knapp bemißt, ist am falschen Orte gespart, denn selbst eine nicht sehr bedeutende Erhöhung der spezifischen Motorleistung verbessert das Verhältnis von Leistung zu Gesamtgewicht mehr, als eine geringfügige direkte Gewichtsersparnis, die mit einer Verringerung der Motornutzleistung erkauft ist.

Die Kühlwasserleitung ist nach der Durchflußmenge des Wassers zu bemessen. Diese hängt nun wesentlich von der Oberfläche und von der Gestalt des Kompressionsraumes ab. Je glatter derselbe und je günstiger das Verhältnis von Oberfläche zu Inhalt, um so geringer wird die abzuführende Wärmemenge sein. Eingehende zum Vergleich zu benutzende Messungen dieser Art sind noch nicht veröffentlicht. Als Grenzwerte aus bekannt gewordenen Messungen kann man 650—1250 WE. abzuführende Wärme für 1 Nutzpferdestunde betrachten. Läßt man 55° Temperaturerhöhung des Kühlwassers zu, so ergeben sich daraus 12—22,5 l Umlaufwasser in der Stunde für 1 PS/St.

Die Wassergeschwindigkeit in der Kühlwasserzuleitung läßt man ziemlich hoch zu, um kleine Leitungsquerschnitte zu erhalten. Man findet 10—20 m sekundliche Wassergeschwindigkeit angewendet.

Die Wasserzuleitung soll möglichst in der Nähe der Auslaßventile anschließen und annähernd im tiefsten Punkt des Kühlmantels sitzen, damit die Auslaßventile tunlichst gut und sicher gekühlt werden. Die Wasserpumpe stellt man zweckmäßig tief, damit ihr das Wasser aus dem Kühler zufließt. Die Wasserableitung liegt meist an der höchsten Stelle des Zylinders, so daß die Wasserbewegung gemäß dem Bestreben des sich erwärmenden Wassers nach oben zu steigen, erfolgt. Dampfblasen werden auf diese Weise sicher abgeführt. Meist läßt man auch noch die zum Kühler führende Ableitung ansteigen, um Dampfsäcke

Digitized by Google

zu vermeiden. Da der Motor fast stets tiefer liegt als der Kühler, ist durch diese Anordnung dafür gesorgt, daß beim eventuellen Versagen der Pumpe die Kühlmäntel der Zylinder mit Wasser gefüllt bleiben, welches dann in diesem Falle durch Verdampfen noch einige Zeit, wenigstens bis zum gewissen Grade, die Kühlung besorgt. Das Ablassen des Kühlwassers bei Frostgefahr kann dann durch **einen** Hahn erfolgen. Die Bohrung desselben sollte man nicht zu klein wählen, wegen der Gefahr des Verstopfens.

Aus Rücksicht auf bequeme Unterbringung der Rohre findet man auch Zu- und Ableitung des Kühlwassers vom Zylinderkopf aus durchgeführt. In diesem Falle bleibt der Kühlmantel beim Versagen der Pumpe ganz gefüllt. Die richtige Wasserverteilung im Kühlmantel macht aber dabei Schwierigkeiten und zum Ablassen des Wassers muß an jedem Kühlmantel im tiefsten Punkt ein besonderer Hahn angebracht sein.

Als Kühlwasserpumpen finden Zentrifugalpumpen überwiegende Anwendung. Sie sind unempfindlich gegen Verschmutzung des Kühlwassers, die nie ganz vermeidbar ist. Der geringe Nutzeffekt derselben ist hier ziemlich bedeutungslos, da die von der Kühlwasserpumpe verbrauchte Energie nur geringfügig ist. Die Zentrifugalpumpen verlangen allerdings höhere Umdrehzahlen als der Motor, was aber ebenfalls konstruktiv keine Schwierigkeiten bereitet. Die gleiche Wasserverteilung auf die einzelnen Zylinder einer Mehrzylindermaschine erreicht man durch Drosselringe in den Leitungszweigen geringeren Widerstandes der Zuleitung, deren Bohrungen durch Versuche auf dem Probierstand leicht festzulegen sind. Eine Drosselung in den Abflußleitungen empfiehlt sich nicht, da hierdurch leicht eine Stauung von Dampfblasen vorkommen kann.

Vergaser.

Um ein zündfähiges Gemisch des zu verwendenden Brennstoffes mit der Luft zu bilden, ist es notwendig, denselben in Dampfform zu verwandeln. Für Leichtmotoren kommen als Brennstoffe ausschließlich die leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffe und von ihnen besonders das Benzin in Frage. Der niedrige Siedepunkt (60°) desselben erleichtert die Lösung der Aufgabe ganz beträchtlich, da die Notwendigkeit einer Erwärmung auf höhere Temperatur entfällt, so daß man von einer eigentlichen Heizung

Digitized by Google

des Vergasers Abstand nehmen kann und nur bei niedriger Außentemperatur und feuchter Luft ein gewisses Maß von Wärme zuführen muß, um die beim Verdunsten leicht auftretende Eisbildung zu verhindern. Diese Heizung kann durch Abgase oder durch erwärmtes Kühlwasser durchgeführt werden. Ersteres ist am bequemsten und am meisten in Anwendung.

Der Name Vergaser ist überhaupt nicht ganz zutreffend, da eine Umwandlung des Brennstoffes in Gas, das Wort im physikalischen Sinne genommen (als Dampf der weit von seinem Kondensationspunkt entfernt ist) gar nicht stattfindet. Richtiger müßte man von Verdunstungseinrichtungen sprechen, denn selbst ein Verdampfen der Flüssigkeit im üblichen Wortsinn findet bei den hier verwendeten Apparaten nicht statt, sondern ein Verdunsten des Brennstoffes.

Die älteren Vergaser arbeiteten als sogenannte **Oberflächenvergaser,** eine Ausführung in schematischer Darstellung, wie sie die Firma Benz anwendete, zeigt die Figur 35.

Im Vergaserraum befindet sich durch einen Schwimmer S geregelt, das Benzin mit gleichbleibendem Flüssigkeitsspiegel, durch das Rohr R wird die Luft durch die Maschine aus dem Behälter abgesaugt. Die äußere Luft durch das Rohr 0 eintretend, muß durch das siebartige Ende des Rohres in kleinen Blasen die Flüssigkeit durchströmen und tritt demnach mit Benzindampf gesättigt durch das Rohr R zur Maschine. Um das Mitreißen von Tropfen zu vermeiden, ist das Rohr R nicht unmittelbar angeschlossen, sondern ein nach Art der Wasserabscheider gebildeter Einbau vorgesehen.

Um bei kälterer Luft ein Anwärmen des Benzins zu erreichen, kann der Boden durch Abgase, die durch das Rohr a zugeleitet werden, geheizt werden.

Alle nach diesem Prinzip gebauten Apparate haben den gemeinschaftlichen Nachteil, daß sich mit der Zeit ein immer schwerer verdunstender, also schwerer siedender Rückstand ergibt. Beim abgebildeten Vergaser ist durch geringen Rauminhalt und dadurch, daß der Rest von höheren spezifischem Gewicht nicht zum Vorratsbehälter zurückfließen kann, diesem Übelstand schon tunlichst begegnet.

Eine weitere Ausbildung der Oberflächenvergaser wurde in der Weise durchgeführt, daß man den Brennstoff möglichst fein verteilt auf Metallgeweben der Verbrennungsluft entgegen-

Digitized by Google

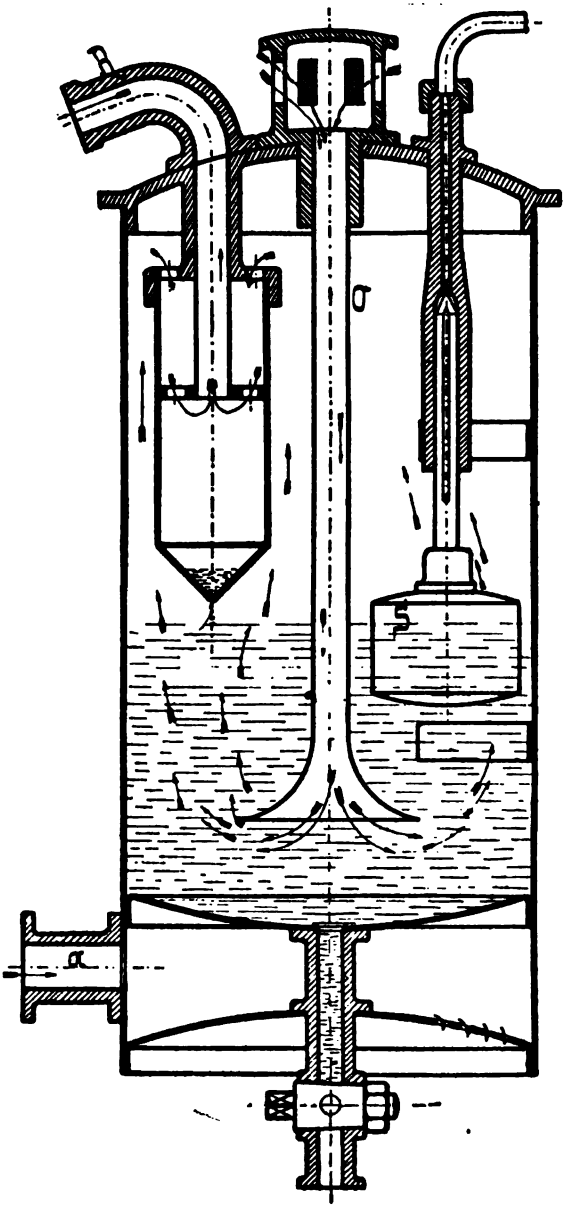


Fig. 35.

Digitized by Google

strömen ließ, so daß auch der schwerer verdunstende Teil desselben verdunstend, in Dampf umgewandelt wird. Da dieser Teil der Luft am weitesten entgegenfließt, wird er, da ihn noch völlig ungesättigte Luft umspült, ebenfalls mit Sicherheit verdunsten. Abbildung 36 zeigt schematisch den Oberflächenvergaser von Chateau. Im Saugrohr a der Maschine befindet sich ein spiralförmig gewundenes Band aus Metallgewebe, an dem der durch Rohr b ausfließende Brennstoff herabläuft. Die Luft streicht demselben entgegen zum Zylinder der Maschine.

Die Brennstoffhöhe im kleinen Gefäß c wird durch einen Schwimmer gleich gehalten. Damit beim Stillstand der Maschine kein unnötiger Brennstoffaustritt stattfindet, ist eine kleine Stahlkugel als Ventil auf die Einmündung von b gelegt, die durch die Erschütterungen während der Fahrt die Leitung eröffnet, im Ruhezustand dieselbe aber abschließt. Um die Maschine beim Anlaufen mit Brennstoff zu versehen, ist der Tupfer d am Schwimmergefäß angebracht, der von Hand niedergedrückt durch den Stift e die Kugel auf die Seite stößt.

Durch Verwendung von Dochten nach dem bei der Petroleumlampe benützten Prinzip ist man ebenfalls in der Lage, den Brennstoff fein verteilt auf eine große Oberfläche auszubreiten und dieses Konstruktionsprinzip ist ebenfalls häufig zum Aufbau von Vergasern benutzt worden. Die **Dochtvergaser** haben wie die vorher beschriebenen den prinzipiellen Vorteil, den gesamten Brennstoff zur Verdunstung zu bringen. Die Saugfähigkeit des Dochtes wird bei den gut durchgebildeten Vergasern dieser Gruppe entweder durch Veränderlichkeit der Saughöhe, oder durch gesteigerte oder verringerte Pressung des Dochtes beeinflußt, um eine regelnde Wirkung auszuüben. Der prinzipielle Nachteil aller Dochtvergaser liegt darin, daß sich die Saugfähigkeit des Dochtes durch Ablagerung von Schmutz in denselben mit der Zeit verringert, ebenso wird die Wirksamkeit bei Auswechslung des Dochtes eine veränderte, so daß eine neue Einregulierung erforderlich wird.

Die zurzeit vorwiegend in Anwendung stehende Vergaserkonstruktion ist der sogenannte **Einspritzvergaser**. Er ist in einer großen Zahl gut durchgebildeter Konstruktionen im Gebrauch und baut sich aus folgender Grundlage auf. Ein Brennstoffbehälter, dessen Flüssigkeitsspiegel durch eine Schwimmerkonstruktion auf stets gleicher Höhe erhalten wird, mündet

Digitized by Google

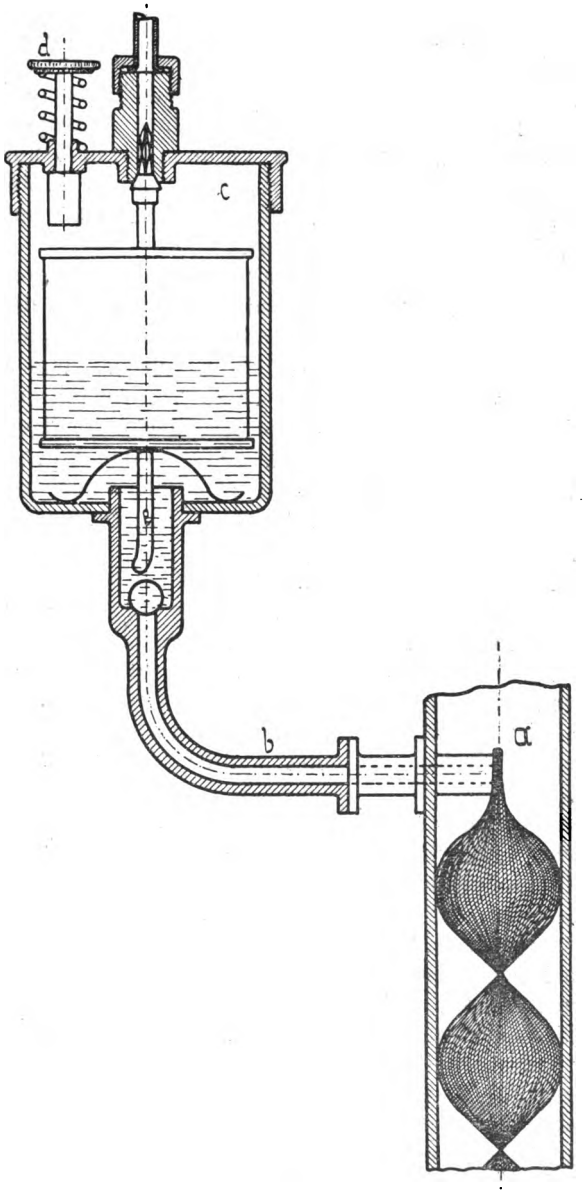


Fig. 36.

Digitized by Google

mit einer feinen Bohrung im Ansaugerohr des Motors. Die Mündungsebene dieser Bohrung liegt über dem Flüssigkeitsspiegel. Wenn der Motor nun ansaugt, so entsteht im Saugrohr Unterdruck, und der auf dem Flüssigkeitsspiegel ruhende atmosphärische Druck treibt aus der Bohrung einen feinen Flüssigkeitsstrahl in das Saugrohr, wo er von der Verbrennungsluft mitgerissen wird und infolge einer feinen, durch geeignete Mittel unterstützten Zerstäubung rasch verdunstend die Verbrennungsluft in zündfähiges Gemisch verwandelt.

Dieses Grundprinzip ist in einer außerordentlich großen Zahl von Ausführungen verwirklicht und dauernd wächst die Anzahl Ausführungsformen, so daß eine annähernde erschöpfende Darstallung derselben hier zu weit führen würde. Wie auf allen anderen Gebieten, so läßt diese Überzahl von Ausführungsformen den Schluß zu, daß eine alle Anforderungen befriedigende Konstruktion noch nicht gefunden ist. Dies kommt daher, daß eine große Zahl teils schwer zu erfüllender, sich auch teils widersprechender Forderungen an den idealen Vergaser gestellt werden müssen.

Diese Anforderungen sind: Der Vergaser soll bei allen Umlaufzahlen des Motors gleiche Gemischbildung ergeben, es soll aber durch Eingriff von außen der Luftgehalt der Ladung vergrößert werden können, bis zum Ansaugen benzinfreier Luft, wenn der Motor als Bremse bei Talfahrt wirken soll. Beim Ankurbeln, also bei kleinster Drehzahl soll ein genügend benzindampfreiches Gemisch gebildet werden, damit der Motor anspringt.

Der Vergaser soll soweit erwärmt werden, daß auch bei feuchter Luft kein Vereisen eintritt, es soll aber das angesaugte Gemisch nicht stärker als unbedingt nötig erwärmt werden, weil dadurch eine Verringerung des Ladegewichts, mithin der Leistung eintritt. Der Vergaser soll gegen die Erschütterungen der Fahrt unempfindlich sein und endlich als wichtigste Betriebsbedingung: er soll tunlichst einfach sein, damit ein Aufnehmen und Nachsehen auch einem Durchschnittsfahrer möglich ist, und er seine Arbeit nicht bei der geringsten Störung einstellt.

Figur 37—39 zeigt schematisch den Aufbau eines Vergasers der soeben beschriebenen Art, und an Hand derselben sei nun untersucht, wie weit die oben aufgestellten Bedingungen erfüllt sind.

Digitized by Google

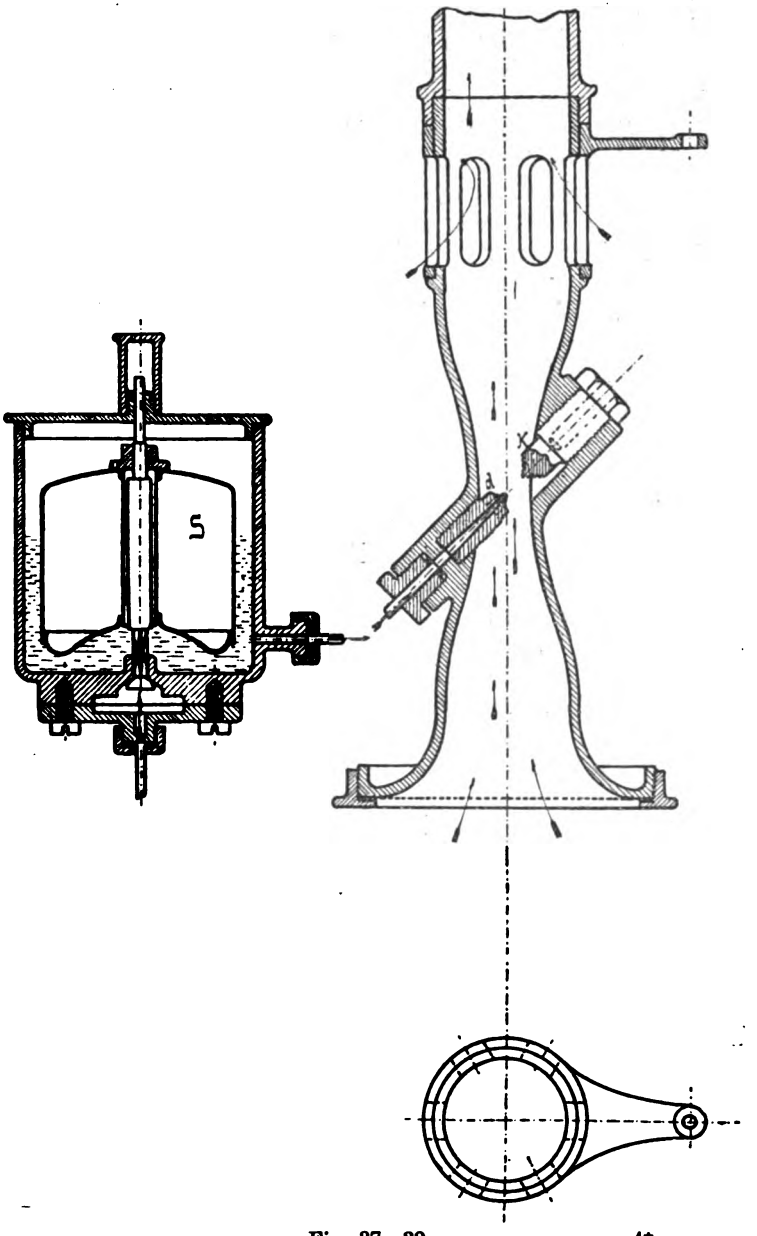


Fig. 37—39.

Digitized by Google

Der Schwimmer S schließt, nachdem ein gewisser Stand der Flüssigkeit erreicht ist, die weitere Zufuhr ab. Saugt nun die Maschine an, so bewirkt der Unterdruck im Saugrohr ein Aufsteigen der Brennstoffsäule in der Düse und es fließt bei d Benzin mit einer gewissen Geschwindigkeit aus. Der Strahl bricht sich etwa an dem Kegel k und zerstäubt mehr oder weniger vollkommen. Läuft die Maschine rascher, so wird der Unterdruck im Saugrohr größer und es fließt mehr Benzin aus, der erste Fehler der Einrichtung. Um ihn zu beseitigen, führt man „Sekundärluft" oberhalb der Ausmündung der Brennstoffdüse zu, wie in Figur 38 angedeutet. Dieses nur im Prinzip hier angedeutete Mittel findet man in den verschiedensten Ausführungen angewendet. So lange man es von Hand des Führers betätigen läßt, ist es nicht genügend zuverlässig, da der Führer nur das Auspuffgeräusch als Maßstab für seinen Eingriff besitzt und dieses ist bei guten Schalldämpfern so verringert, daß nur ein feines Ohr sich nach ihm zu richten vermag. Man hat deshalb diese Verstellung bei allen neueren Vergasern selbsttätig gemacht. Abb. 40 zeigt die Lösung, wie sie der Renaultvergaser benutzt. Der größer werdende Unterdruck im Saugrohr öffnet das als dünne Metallscheibe ausgebildete Ventil „V" und läßt Zuluft durch die Öffnungen „O" eintreten. Je stärker der Unterdruck, um so höher hebt „V" und da das Gehäuse kegelig ausgebildet ist, legt es größere Durchströmquerschnitte frei. Der Kolben K schwimmt dabei in Benzin, so daß er Stößen gegenüber als Flüssigkeitspuffer wirkt.

Eine andere Lösung der Aufgabe zeigt Abb. 41, die einen Vergaser von Grouvelle und Arquembourg darstellt, die Löcher „L" von wechselndem Durchmesser werden von Kugeln wachsender Größe abgesperrt. Je größer der Unterdruck, um so mehr Kugeln werden gehoben. Eine Dämpfung der Fahrterschütterungen ist hier nicht vorgesehen.

Ein weiterer Fehler an Einspritzvergasern, der bisher behandelten Bauweise besteht darin, daß das Benzin durch den Unterdruck des Saugrohrs in Bewegung gesetzt, infolge seiner Trägheit noch ausfließt, wenn der Luftstrom seine Saugwirkung schon eingestellt hat. Es schießt also Benzin aus der offenen Düse nach, wenn die Einlaßventile schon geschlossen haben. Je rascher die Maschine läuft, um so mehr wird sich im allgemeinen diese Erscheinung bemerkbar machen. Die Eigenschwingungszahl der Benzinsäule und eine bestimmte Umlaufzahl der Maschine

Digitized by Google

werden dabei in Resonanz stehend eine erhebliche Vergrößerung der Benzinzufuhr bewirken können, somit Verrußen der Ventile und üblen Geruch der Auspuffgase erzeugen. Diesem Mißstand

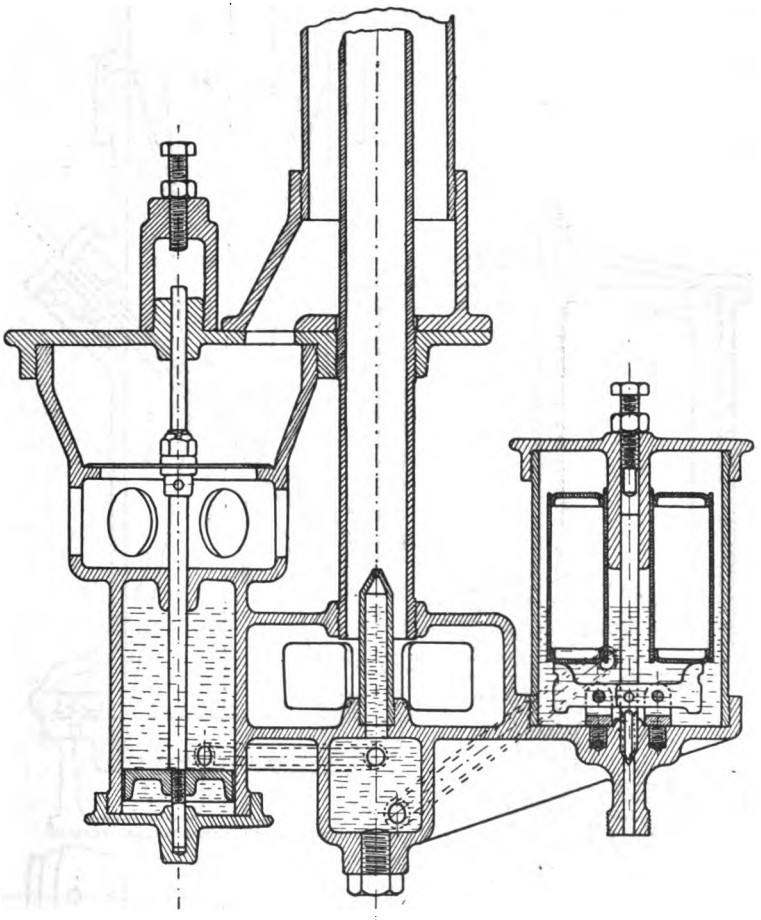


Fig. 40.

hat man dadurch entgegenzuwirken versucht, daß man Stauflächen an der Düsenröhre anbrachte. Durch scharfe Knicke oder sonstige Reibung erzeugende Mittel in der Zuleitung zur

Digitized by Google

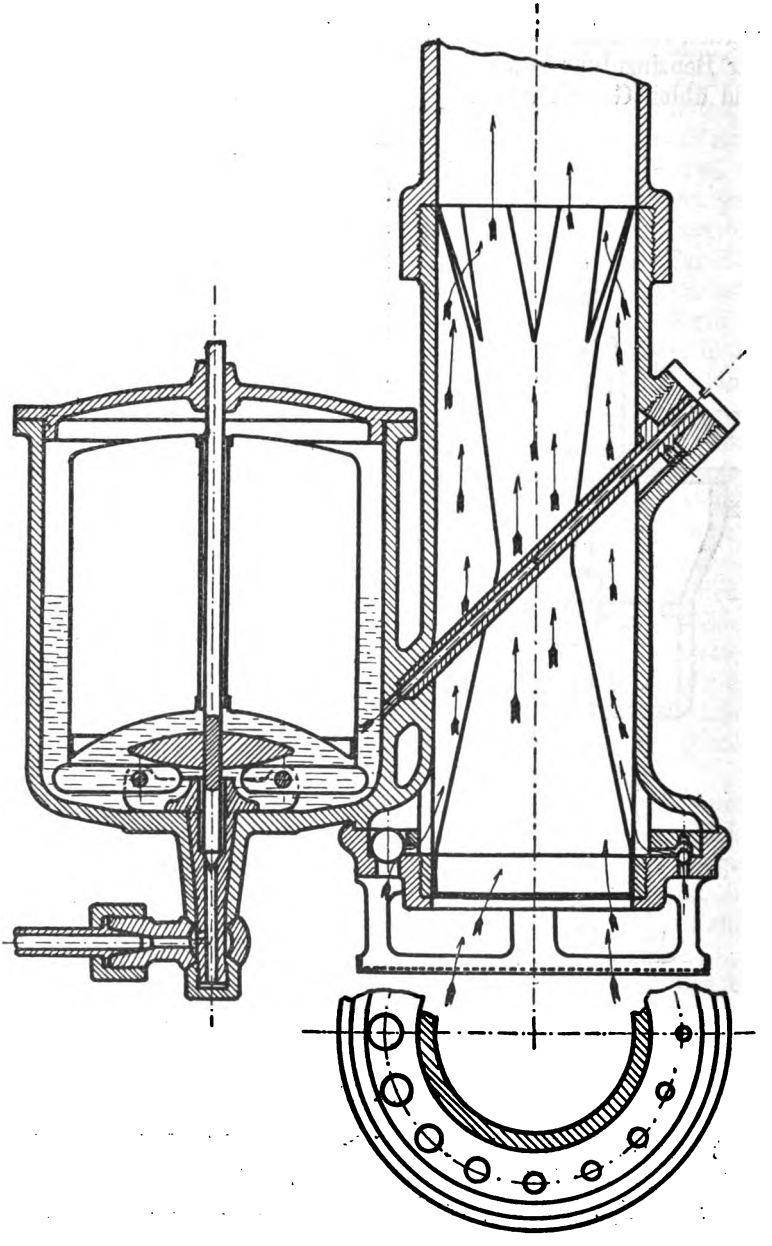


Fig. 41.

Digitized by Google

Düse und durch möglichste Verkürzung der Leitungslänge kann man dem Übelstand entgegenwirken, ohne ihn völlig beseitigen zu können.

Eine Steuerung der Düsenöffnung durch Ventile, welche vom Unterdruck im Saugrohr betätigt werden, hat man ebenfalls angewendet. Da hierbei aber noch wesentlich trägere Massen als die Benzinsäule in Frage kommen, erreicht man damit keinen durchschlagenden Erfolg.

Die Benzinmenge jedes Hubes abzumessen, hat man konstruktiv ebenfalls schon verwirklicht. Da hierzu mindestens zwei miteinander kombinierte Ventile erforderlich sind, deren Arbeitsweise von den Erschütterungen der Fahrt beeinflußt wird, da ferner die in Frage kommenden Mengen sehr klein sind, ist mit dieser Lösung die Schwierigkeit auch nicht sehr befriedigend zu beseitigen.

Beachtenswert sind die Bestrebungen, die Regelung von den dynamischen Störungen dadurch tunlichst zu befreien, daß man Benzindampf, etwa mittels Dochtvergaser erzeugt, durch eine regelbare Öffnung mit der Verbrennungsluft mischt (Zechlin, Automobilkritik, — 95 —).[1]) Gleichzeitig wird dadurch der zu regelnde Querschnitt wesentlich größer, ist also leichter zu beherrschen, als die nur einen oder einige Quadratmillimeter weite Benzindüse.

Ein weiterer Punkt, an dem Verbesserungsbestrebungen einzusetzen haben, ist der Schwimmer. Solche aus Kork oder Holz haben den Nachteil, daß sie das im Benzin etwa vorhandene Wasser gierig aufsaugen und dadurch ihr Gewicht verändern. Weiter lösen sich leicht kleinste Teilchen von der Masse ab, die dann die Benzindüse verengen oder verstopfen (Düse zum leichten Durchstoßen oder zum bequemen Herausschrauben anordnen). Deshalb findet man vorwiegend Blechschwimmer verwendet. Dieselben müssen auf das Sorgfältigste gelötet sein und trotzdem werden sie leicht leck. Dann schließen sie nicht mehr ab und es läuft das Benzin über, was abgesehen von zu benzinreichem Gemisch auch zu Bränden Veranlassung geben kann, die das ganze Fahrzeug vernichten können.

Auch der Auftrieb der Blechschwimmer ist recht wenig

[1]) Herausgegeben vom Mitteleuropäischen Motorwagen-Verein, Berlin 1905.

Digitized by Google

befriedigend. Läßt man, um die Schlußkraft zu erhöhen, den Schwimmer an einem größeren Hebelarm wirken, so kommt zu der an sich schon großen Masse des Schwimmers noch die Masse des Hebels, so daß durch die Stöße der Fahrt noch mehr Störungen in der Standhöhe des Benzins hervorgerufen werden.

Um die Einwirkung der Stöße nach Möglichkeit abzuschwächen, ordnet man nach Abb. 42 Gegengewichte so an, daß ein Stoß, der bestrebt ist den Schwimmer zu heben, durch die Massenwirkung des Gewichtshebels in der anderen Bewegungsrichtung ausgeglichen wird. Außerdem heben die Gegengewichte den größten Teil des Schwimmergewichtes auf, sein Auftrieb kommt also nahezu voll zur Wirkung, um das Benzinventil zu schließen.

Um eine Dämpfung der Schwimmerschwankungen zu erreichen, hat man den unteren Rand desselben (Abb. 43) als nahezu dichtschließenden Kolben ausgebildet (Growelle und Arquembourg) der ein rasches Übertreten von Brennstoff verhindert und dadurch stark dämpfend auf die raschen Bewegungen einwirkt, ohne die langsamen wesentlich zu hemmen.

Um endlich beim Schiefstellen des Wagens wechselnde Benzinspiegel zu vermeiden, hat man die Schwimmer als Ringschwimmer ausgebildet (Abb. 44), die die Benzindüse konzentrisch umgeben, so daß an dieser Stelle stets gleich hoher Stand der Flüssigkeit erzielt wird. Auch durch die Verwendung zweier Schwimmer kann man das gleiche Ziel erreichen (Abb. 45) (Daimler).

Eine weitere Gruppe von Einspritzvergasern sind die Registervergaser. Dieselben sind im Prinzip so aufgebaut, daß 2 oder mehr Einspritzdüsen vorhanden sind, die entweder von Hand oder selbsttätig durch die Maschine eingeschaltet werden, wenn höhere Leistung einen stärkeren Benzinzufluß bedingt. Meistens findet man 2 Düsen von verschiedener Weite in Anwendung, von denen die kleinere das richtige Gemisch für Leerlauf liefert, während beide Düsen für die größte Leistung des Motors bemessen sind. Als regelnde Kraft zur Schaltung der Drehschieber, Drosselklappen oder Ventile wird meist der wechselnde Unterdruck des Saughubes benutzt. Ein Zentrifugalregler wäre hierfür im Prinzip ebenso zu gebrauchen; da er eine mehr oder weniger komplizierte Gestängeanlage nötig macht, findet man ihn seltener in Anwendung, obgleich durch seine Anwendung der Saug-

Digitized by Google

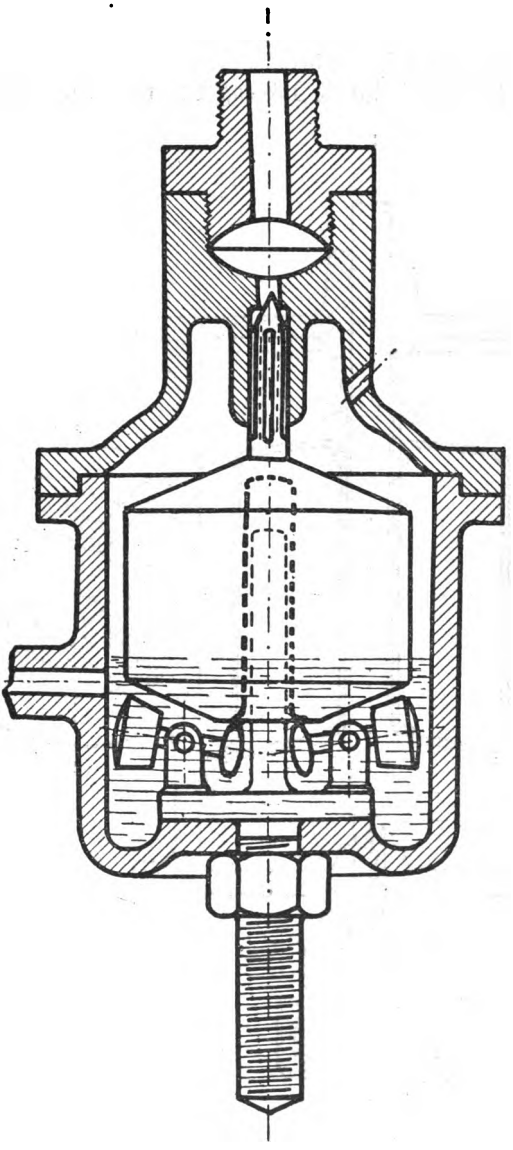


Fig. 42.

Digitized by Google

widerstand der Maschine verkleinert würde, also ein größeres Ladegewicht, mithin höhere Leistung für die Einheit des Kolbenhubraums zu erreichen wäre.

Eine thermisch ideale Lösung des Saugvorganges verlangte

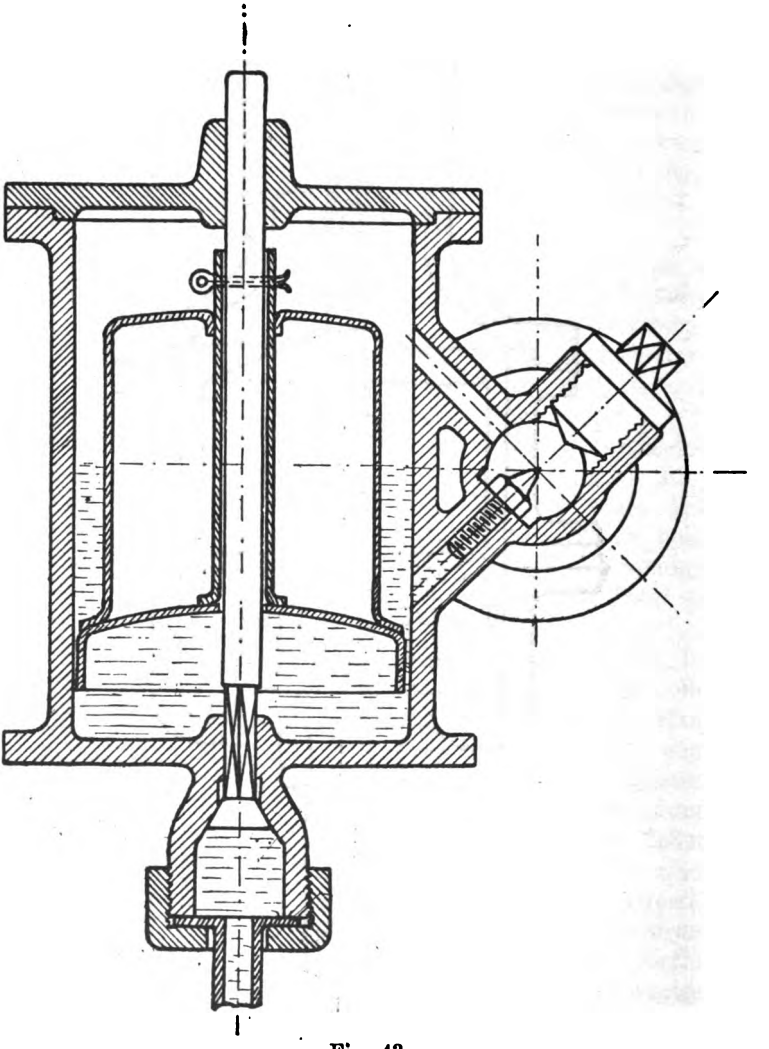


Fig. 43.

Digitized by Google

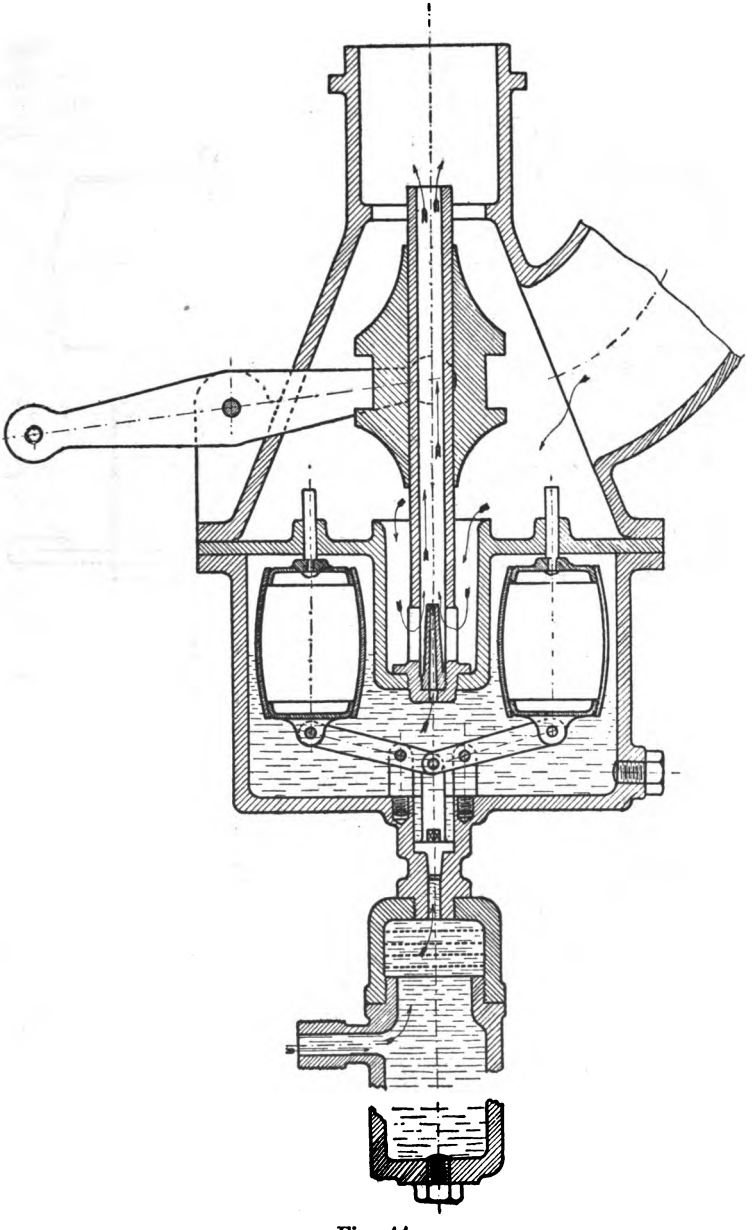


Fig. 44.

Digitized by Google

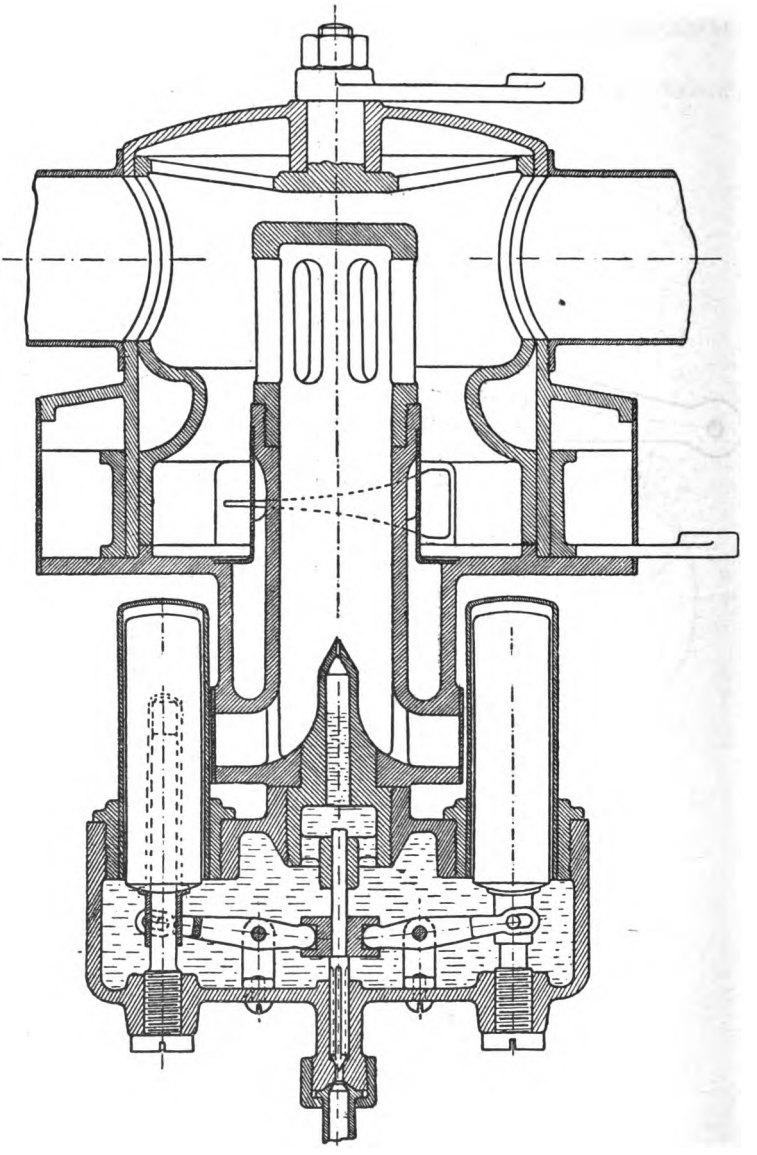


Fig. 45.

Digitized by Google

eigentlich besondere Ladepumpen, die jedoch Preis, Gewicht und Leerlaufwiderstand der Maschine zu ungünstig beeinflussen würden, so daß man Abstand davon nehmen muß.

Eine Erschwerung für eine alle Anforderungen erfüllende Vergaserkonstruktion liegt in dem in neuerer Zeit immer mehr hervortretenden Bestreben, unter Verwendung möglichst kräftiger Maschinen eine Geschwindigkeitsregelung der Fahrt durch Regelung der Umlaufzahl des Motors zu erreichen. Die Verwendung von Zahnradvorgelegen also tunlichst einzuschränken, oder anders ausgedrückt wechselnde Fahrgeschwindigkeiten möglichst nur unter Benutzung der direkten Kuppelung von Motor und Wagenräder zu erreichen, weil hierbei naturgemäß ein besserer Wirkungsgrad der gesamten Maschinenanlage erreicht wird. Näheres hierüber unter Regelung des Motors.

Zum Schluß ist noch das Bestreben zu erwähnen, andere Brennstoffe als Benzin für den Betrieb der Motore zu verwenden. Benzin wird in Deutschland nicht erzeugt und sein Verbrauch ist ein stetig wachsender. Die Preise desselben sind deshalb auch dauernd im Steigen begriffen und es gehen jetzt schon jährlich bedeutende Summen dafür ins Ausland wie nachstehende Tabelle angibt.

Deutschlands Außenhandel in leichten Mineralölen in der Zeit von Januar bis September 1907:

I. Rohnaphta, Rohbenzin

Einfuhr (12,97 M.)	824956 dz
Veredelungsverkehr	669763 „
Zollfrei	31314 „
Verzollt zu roh 6 M.	123731 „
Ausfuhr (16,30 M.)	444 „
Veredelungsverkehr	103 „

II. Mineraläle, gereinigt (Gasolin, Benzin, Ligroin, Petroleumäther, Putzöl usw.

Einfuhr (13,78 M.)	54171 dz
Veredelungsverkehr	477 „
Zollfrei	6024 „
Verzollt zu roh 6 M.	47080 „
Ausfuhr (22 M.)	30970 „
Veredelungsverkehr	28952 „

III. Schwerbenzin zum Motorenbetrieb

Einfuhr (10,40 M.)	188 dz

Digitized by Google

IV. Gasöl zum Motorenbetrieb oder zur Karburierung von Wassergas
Einfuhr (5,40 M.) 37560 dz

Wert des Ein- und Ausfuhrhandels

	Einfuhr	Ausfuhr
	Januar bis September	
Rohnaphta, Rohbenzin	10 700 000 M.	7000 M.
Gasolin, Benzin, Ligroin	746 000 M.	681000 M.
Gasöl	397 000 M.	—
Schwerbenzin	2 000 M.	—

Als Ersatz für Benzin kommen in erster Linie Benzol, ein aus Teer gewonnenes Nebenprodukt und Spiritus in Frage. An Benzol wurden im Jahre 1907 in Deutschland rund 60000 t erzeugt. Beide vergasen nur bei höherer Temperatur, die in den Abgasen zur Verfügung steht, sobald der Motor erst genügend warm geworden ist. Das Anlaufen des Motors wird dabei mit Hilfe von Benzin erreicht. Wenn der Motor genügend heiß ist, wird dann auf den anderen Brennstoff umgeschaltet. Dies kann entweder von Hand aus geschehen oder durch einen im Vergaser eingebauten Temperaturregler, der die Benzindüse bei genügender Temperatur abschließt und die Düse des zweiten Brennstoffes öffnet, dabei meist auch gleichzeitig eine entsprechend bemessene Luftklappe. Nach Abstellen des Motors vollzieht der Temperaturregler die Umkehrung der Schaltbewegungen, so daß beim erneuten Anlassen wieder selbsttätig Benzin zufließt.

Zum Verarbeiten von Spiritus vermischt man vielfach Spiritus mit so viel Benzin oder Benzol (karburierter Spiritus), daß ein leicht zu verarbeitendes Gemisch entsteht. Dieses Vorgehen hat den Nachteil, daß leicht ein Entmischen wegen der Verschiedenheit der spezifischen Gewichte eintritt, so daß dann Schwierigkeiten beim Betrieb entstehen. Um dem aus dem Wege zu gehen, baut man neuerdings meist für diesen Zweck Doppelvergaser, bei denen beide Brennstoffe erst bei der Zerstäubung gemischt werden. Die Düsenquerschnitte in passender Größe ausgeführt, sorgen dann dafür, daß stets das richtige Mischungsverhältnis der beiden Brennstoffe erhalten bleibt.

Die Zündung.

Die Zündung der Leichtmotoren wird als Kerzen- oder Abreißzündung ausgebildet. Als Stromquelle für die erste Art kann eine Akkumulatorenbatterie oder eine Magnet-Dynamomaschine

Digitized by Google

benutzt werden. Als Stromquelle für die Abreißzündung stets eine Magnet-Dynamomaschine.

Die Kerzenzündung mit hochgespanntem Strom hat den Nachteil, daß sie keine so lange und kräftige Zündfunken erzeugt wie die Abreißzündung, auch sind bei ihr die Isolationsschwierigkeiten wie bei jeder Hochspannungsleitung vorhanden. Sie hat aber konstruktiv den großen Vorteil, daß man mit den entsprechend isolierten Kabeln ohne Schwierigkeiten an jede beliebige Stelle des Zylinders herankommen kann. Die Lage der Zündkerze kann also so gewählt werden, wie es die Rücksicht auf eine gute Zündung verlangt. Für den Betrieb hat sie weiter die Annehmlichkeit, daß man bei Mehrzylindermotoren und dichten Ventilen meist ohne Ankurbeln den Motor in Gang bringt, indem man durch Unterbrechung des Primärstromes Zündfunken erzeugen kann.

Die Kerzenzündung mit Batteriestrom ist im Prinzip so eingerichtet, daß der beim Unterbrechen des Stromkreises in der Sekundärspule erzeugte Induktionsstrom von hoher Spannung an der Zündkerze einen Funken zum Überspringen bringt. Um mehrere Zündfunken zur sicheren Zündung zu erhalten, schaltet man vielfach den bekannten Hammerunterbrecher in den Primärstromkreis ein (Trembleur).

Eine einfache Rechnung überzeugt aber davon, daß infolge der zu kleinen Schwingungszahl des Unterbrechers gegenüber der normalen Umdrehzahl des Motors dieses Ziel nicht zu erreichen ist. Wichtig ist es, bei diesen Apparaten den Stromschluß nicht zu kurze Zeit andauern zu lassen, damit der Induktionsstrom bis zu einer vollen Höhe anwachsen kann, so daß ein möglichst kräftiger Funken entsteht (Zechlin-Automobilkritik, 102 u. f.). Verwendet man Akkumulatorenzündung nur zum Anlassen des Motors, so ist der Hammerunterbrecher durchaus am Platze. Die Batteriezündung als alleinige Zündquelle ist wegen der mit der Akkumulatorenbatterie verbundenen Unannehmlichkeiten zurzeit nur noch selten in Anwendung, die Verwendung magnet-elektrischer Maschinen überwiegt. Gibt die Zünddynamomaschine Wechselstrom ab, so ist nur ein Transformator nötig, um den Strom auf genügende Spannung zu bringen und ein Stromverteiler im Sekundärstromkreis, um die Kerzen der einzelnen Zylinder im richtigen Moment zum Funken zu bringen. Um die Zündfunken kräftiger zu machen, ist fast

Digitized by Google

stets ein Kondensator in den Sekundärstromkreis geschaltet. Die Verwendung magnet-elektrischer Maschinen hat gegenüber der Batteriezündung den Vorzug, betriebssicherer zu sein, sie ist aber mit dem Nachteil behaftet, daß das Ankurbeln recht schwierig ist, denn es gehört schon eine ansehnliche Drehzahl der Motorwelle (120—150) dazu, bis die Spannung der Zünddynamomaschine für einen Zündfunken hoch genug wird. Deshalb findet man bei größeren Motoren meist Batteriezündung zum Anfahren neben der Magnetzündung verwendet, wodurch gleich auch für eine Reserve gesorgt ist. Bei mehrzylindrischen Motoren gelingt dann meist ein Anlassen des Motors vom Führersitz aus, ohne Ankurbeln, sofern Kolben und Ventile gut dicht halten und das Abstellen des Motors durch Abschaltung der Zündung erfolgt ist, also zündfähiges Gemisch im Kompressionsraum eines Zylinders vorhanden ist.

Die Abreißzündung liefert kräftige Zündfunken, die auch schwächeres Gemisch noch mit Sicherheit zünden und ist eine sehr betriebssichere Anlage, sie bietet aber konstruktive Schwierigkeiten, da man mit einem gesteuerten Abreißgestänge an die im Kopf des Zylinders sitzende Zündbüchse herangehen muß und außerdem verlangt sie die gasdichte Durchführung des beweglichen Zündhebels durch die Zündbüchse.

Auch die Nachstellbarkeit des Abreißgestänges, die erforderlich ist, weil der Abreißkontakt sich abnützt und die notwendige Verstellbarkeit des Zündzeitpunktes bereiten konstruktive Schwierigkeiten. Die Versuche, das Abreißgestänge zu beseitigen und den elektrischen Strom zur Abreißbewegung zu benutzen, ist naheliegend und in den verschiedensten Ausführungsformen versucht worden. Eine praktisch befriedigende Lösung der Aufgabe scheint noch nicht gefunden, die magnetischen Kräfte sind gegenüber den Erschütterungen des Fahrbetriebes wohl zu klein. Eine kombinierte Hochspannungs-Starkstromzündung hat Bosch in der Weise durchgebildet, daß der auf hohe Spannung umgeformte Sekundärstrom an der Kerze einen Funken zum Überspringen bringt, der dem Primärstrom nun den Übergang ermöglicht, wodurch die Vorzüge der Hochspannungszündung mit denen der Abreißzündung nahezu vereinigt erreicht werden.

Digitized by Google

Die Regelung des Motors.

Die Regelung des Motors erfolgt zurzeit fast ausschließlich durch Veränderung des Zündzeitpunktes und solche des angesaugten Gemischgewichtes.

Aussetzerregelung bei Mehrzylindermaschinen wäre wirtschaftlich, die Verwirklichung stößt bei gest. Einlaßventil jedoch auf große konstruktive Schwierigkeiten und verschlechtert den Gleichgang erheblich.

Gemischveränderung läßt nur geringe regelnde Einwirkung zu, da die Zündgrenzen des Benzin-Luftgemisches dicht beieinander liegen und führt leicht zu Luftmangel, der mit Verrußen der Zylinder und unangenehmem Auspuffgeruch verbunden ist.

Die Zündpunktsverlegung gestattet weitest gehende Regelfähigkeit, aber verbunden mit unwirtschaftlichem Benzinverbrauch, da bei jeder Leistung, auch der kleinsten, das gleiche Benzingewicht verbrannt wird, als bei höchster Leistung. Eine Veränderung des Zündpunktes muß aber vorhanden sein, da bei jeder Umlaufzahl eine bestimmte Frühzündung die günstigste Verbrennung des Gemischs gewährleistet. Von einem guten Fahrer sollte sie also nur zur Nachregelung benutzt werden.

Die Hauptregelung, die auch wirtschaftlich nicht schlecht wirkt, ist die Veränderung des Ladegewichts. Sie wird durch Frühschluß des Einlaßventils oder durch Drosselung im Ansaugrohr bewirkt. Frühschluß des Einlaßventils muß konstruktiv durch Verschieben der fallend ausgebildeten Einlaßnocken oder Veränderung der Nockenform am ablaufenden Teil des Nockens oder Änderung der Länge der Steuerstangen des Einlaßventils verwirklicht werden. Da Drosselung des Saugrohrs konstruktiv viel leichter verwirklicht werden kann, ist diese Art die verbreitetste. Das Drosselorgan (Kolbenschieber, Drosselklappe oder Drosselventil) muß zwischen Vergaser und Motor liegen, damit die Gemischbildung nicht geändert wird.

Beim Entwurf des Drosselorgans ist darauf zu achten, daß gleichen Wegen des Verstellhebels gleiche Drosselwirkung entspricht. Die konstruktiv außerordentlich bequeme Drosselklappe besitzt die Eigentümlichkeit, anfänglich nur sehr wenig, dann sehr rasch zu wirken. Dem muß durch geeignete Ausbildung

Digitized by Google

der Gestängeübersetzung Rechnung getragen werden, oder durch geeignete Ausbildung des Drosselorgans.

Der Regelvorgang ist vom Fahrer so zu bewirken, daß zur Veränderung der Motorleistung die Drosselvorrichtung eingestellt wird, hierauf ist der Zündzeitpunkt entsprechend der Motorgeschwindigkeit, die vom Widerstand der Fahrbahn abhängt, einzustellen. Eine zwangläufige Kuppelung beider Organe ist also nicht wirtschaftlich.

Um ein Durchgehen des Motors beim plötzlichen Auskuppeln bei voller Leistung zu verhindern, ist es zweckmäßig, eine Abhängigkeit zwischen dem Drosselorgan und dem Kuppelungshebel zu verwenden. Diese Abhängigkeit muß derartig sein, daß beim Auskuppeln ein Schließen der Drosselvorrichtung zwangläufig eintritt, daß Betätigung des Drosselorgans aber auch ohne Auskuppeln möglich ist. Konstruktiv ist diese Forderung durch einen entsprechend geschlitzten Hebel leicht auszuführen.

Luftschiffmotoren sind nach den gleichen Gesichtspunkten aufgebaut wie Automobilmotoren, nur daß bei ihnen der Preis in den Hintergrund tritt, gegenüber der Forderung möglichst geringen Gewichtes und unbedingter Betriebssicherheit. Es sind also hier auch teure Konstruktionen, wenn sie nur diese beiden Forderungen möglichst weitgehend erfüllen anwendbar. Hierher gehören die Bestrebungen, den Kühlmantel aus Blech herzustellen (Fig. 11). Das Kurbelgehäuse wird ausnahmslos aus Nickelaluminium hergestellt und kann, da Erschütterungen durch die Fahrt wegfallen, wesentlich leichter gehalten werden. Das Einkapseln der Steuerräder kann wegfallen, da die Motoren nicht im Staub der Landstraße zu arbeiten haben.

Aufmerksamkeit ist auf den Umstand zu verwenden, daß die Maschinen meist dauernd in schräger Lage stehen. Das Kurbelgehäuse ist so auszubilden, daß durch das dauernde Schrägliegen kein Entblößen der vorderen Kurbeln von Öl eintritt, eventuell ist für dauernd umlaufendes Öl zu sorgen.

Da die Motoren dauernd unter Höchstlast laufen müssen, sind die Gleitflächen des Triebwerks reichlicher zu dimensionieren, als bei Automobilmotoren und ihre sorgfältige und überreichliche Schmierung durch besondere Ölpumpen sicherzustellen.

Die Luftfahrzeuge mit Drachenflächen, die sogenannten „Schwerer als die Luft" stellen die höchsten Anforderungen an

Digitized by Google

Leichtigkeit und Betriebssicherheit. Um das Schwungradgewicht zu ersparen, hat man deshalb zu der Anordnung der Tafel I gegriffen, die einen Motor nach dem System des Gnommotors darstellt. Hierbei rotieren die Zylinder um die stillstehende Kurbelwelle, ihr Gewicht ersetzt also die Schwungradmasse, die Bewegungsenergie wird vom unlaufenden Gestelle abgenommen.

Die Ventile sitzen im Kopf der Zylinder und sind so gesteuert, daß die mit dem Zylinder umlaufenden Steuerstangen mit ihren Enden unter Vermittlung von Rollen auf geeignet profilierten, feststehenden Rollbahnen ablaufen.

Die Zylinder sind für Luftkühlung eingerichtet, was bei der hohen Umfangsgeschwindigkeit und der hohen Relativgeschwindigkeit gegen die Luft, bei der Fahrt ausreichend ist, um eine allzubeträchtliche Erwärmung zu vermeiden. Um das Auspuffventil zu entlasten, können am Zylinderumfang Auspuffschlitze angebracht, die vom Kolben gesteuert werden.

Der Aufbau des Gnommotors ist besonders auf die Bedingungen des Luftsportes zugeschnitten, und die durch ihn gezeitigten Erfolge, insbesondere der französischen Flieger sind bekannt. Ein Vergleich bezüglich Anschaffungspreis, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit mit dem normalen Motor läßt sich nicht ziehen, seine Verwendung für andere Zwecke als zum Antrieb von Luftschrauben von Drachenfliegern ist ausgeschlossen.

Bootmotoren werden, soweit sie nicht für Rennzwecke benutzt werden, entsprechend der weniger sanften Behandlung schwerer gebaut als Automobilmotoren. Man läßt sie wegen der Schrauben nicht so schnell laufen. Möglichste Einfachheit bei der Bedienung ist bei ihnen Haupterfordernis, da besonders geschulte Bedienung meist nicht vorhanden ist. Die zum Manövrieren erforderliche Umkehrung der Schraubenwirkung erreicht man bei kleinen Leistungen meist durch drehbare Schraubenflügel. Auch Zahnradübertragung auf die Schraubenwelle mit Rückwärts-Vorgelege ist in Anwendung. Die Umsteuerung des Motors selbst steht ebenfalls in Anwendung. Um sie ausführen zu können, müssen die Steuerwellen gegen Motorwelle verdreht werden und zwar Ein- und Auslaßsteuerung um verschiedene Beträge oder sie müssen 2 Paar Nocken tragen, das eine Paar für Vorwärtsgang, das zweite für Rückwärtsgang. Zum Umsteuern muß zunächst die Zündung abgestellt werden

Digitized by Google

(nicht das Gas abgedrosselt werden), so daß die Zylinder mit zündfähigem Gemisch gefüllt sind. Hierauf wird die Steuerwelle eingestellt und wenn der Motor zum Stillstand gekommen ist, oder nahezu stille steht, die Zündung auf größte Spätzündung gestellt und wieder eingeschaltet. Sind die Kolben und Ventile dicht, so springt der Motor durch die Explosion in dem Zylinder, der auf Kompression steht, im gewünschten Sinne an. Notwendig hierfür ist natürlich Batteriezündung, da der Zündfunke ja bei Stillstand des Motors erzeugt werden muß.

Ferner seien hiermit im Zusammenhang die Bestrebungen, die auf einem Ersatz des Viertakt-Ventilmotors hinzielen, angeführt. Dabei ist zunächst der Schiebermotor zu erwähnen. Derselbe ist unter Verwendung von hin- und herschwingenden oder rotierenden Kolbenschiebern zurzeit in versuchsweiser Anwendung. Die bisher vorliegenden Berichte loben den geräuschlosen Gang dieser Motoren. Wie sich dieselben aber im Dauerbetrieb verhalten, ist zurzeit noch nicht anzugeben, ebenso ist nach den bisherigen veröffentlichten Konstruktionseinzelheiten nicht zu entscheiden, ob mit der Schiebersteuerung größere Kanalquerschnitte zu verwirklichen sind, was eine Vergrößerung der spezifischen Leistung ermöglichen könnte.

Weiter sind die Zweitaktmotoren hier zu erwähnen. Dieselben stehen seit einer Reihe von Jahren in Anwendung, haben sich aber nicht in erheblicher Zahl einzuführen vermocht, was darauf schließen läßt, daß die Schwierigkeiten des Ausspülvorgangs (der bei ortsfesten Maschinen nur unter Verwendung von besonderen Spülpumpen ziemlich befriedigend gelungen ist) durch Verwendung der Kurbelkastenpumpen, die hier die Forderung nach Einfachheit erzwingt, nicht so vollkommen zu beseitigen sind, daß erhebliche Vorzüge in der spezifischen Leistung auf die es hier allein ankommt, zu erzielen sind.

Massenausgleich.

Bei den hohen Umlaufzahlen der Leichtmotoren und dem Fehlen jeder Fundamentmasse muß dem Ausgleich der freien Massenkräfte größte Aufmerksamkeit gewidmet werden, da leicht durch Resonanz zwischen den störenden Kräften und der Eigenschwingungszahl der Wagen oder einzelner Teile derselben so heftige Schwingungen entstehen, daß die Haltbarkeit der Ver-

Digitized by Google

bindungen in Frage gestellt ist, abgesehen von der Unannehmlichkeit, die sie für die Insassen des Gefährtes haben. Besonders gefährlich sind dabei die Kraftimpulse mit niedriger Frequenz, weil sie der Eigenschwingungszahl des Rahmens am nächsten liegen. Von den Teilen des Wagens neigen die Steuersäule und die Kotschützer, weil sie nur mit einem Ende gehalten sind und weit ausladen, am meisten zu großen Schwingungsausschlägen, die für die Festigkeit dieser Teile gefährlich werden können. Weiter zeigt der leere Wagen naturgemäß mehr Neigung zu starken Erzitterungen als der belastete.

Die Kräfte, die diese störenden Bewegungen verursachen, sind die Massenkräfte der im Triebwerk bewegten Teile. Man unterscheidet zwischen den durch die rotierenden Massen und den durch die hin- und herschwingenden Massen bedingten freien Kräften. An rotierenden Massen kommen in Betracht die Kurbelzapfen und Arme der Kurbelkröpfungen sowie ein Teil der Schubstangen (½), an hin- und herschwingenden Massen, die der Kolben neben Kolbenbolzen und ein Teil der Schubstangen (½).

Die Zentrifugalkräfte der rotierenden Massen können durch rotierende Gegengewichte bequem und vollkommen ausgeglichen werden. Die Wirkung der schwingenden Massen kann völlig nur durch ebenfalls schwingende Ausgleichmassen beseitigt werden.

Sofern diese schwingenden Ausgleichmassen nicht selbst wieder arbeitende Triebwerksteile sein können (wie beim 6-Zylinder-Motor), ist dieser Weg nicht gut gangbar, da sie das Gewicht des Motors unliebsam erhöhen und wesentliche Komplikationen in die Konstruktion bringen würden.

Man benutzt deshalb für den Ausgleich der schwingenden Massen ebenfalls rotierende Gegengewichte mit deren Hilfe man allerdings keinen völligen Ausgleich schaffen kann, mit denen man gewissermaßen nur die Richtung der störenden Kräfte ändert. Würde man diese Gegengewichte so groß wählen, daß ihre Zentrifugalkräfte in den Totlagen die Massenkräfte (abgesehen von dem Teil der vom Fehlerglied des Kurbelmechanismus herrührt) der schwingenden Masse gerade aufheben, so hätte man an Stelle der vertikalen störenden Kräfte beim stehenden Motor gleich große wagrechte störende Kräfte eingetauscht. Praktisch nimmt man diese Ausgleichgewichte nur halb so groß, hat dann die vertikalen Kräfte nur zur Hälfte ausgeglichen und dafür in

Digitized by Google

horizontaler Richtung allerdings ebenfalls nun störende Kraftwirkungen, aber auch nur von der halben Größe wie im Falle vorher.

Die einzelnen in Frage kommenden Typen von Motoren ergeben folgende Möglichkeiten. Der Sechszylindermotor mit 3 Paaren, um je 120° versetzten Kurbelkröpfungen in der Anordnung in Figur 46, 47 gibt vollkommenen Ausgleich der rotierenden und der schwingenden Massen, ebenso verschwinden die Momente dieser störenden Kräfte, da die 6 Triebwerkteile sich völlig symmetrisch bewegen, Ausgleichgewichte sind nicht erforderlich.

(Fig. 46 u. 47 s. S. 71.)

Der **Vierzylindermotor** mit je 2 Paaren um 180° versetzter Kurbel nach Abb. 48, 49 ergibt freie Massenkräfte, von dem Fehlerglied des Kurbelmechanismus herrührend, also von nur geringer Größe. Die Schwingungszahl ist gleich der doppelten Umlaufzahl der Motorwelle, also wenig bedenklich. Die Momente der freien Massenkräfte heben sich wegen der symmetrischen Anordnung der Massen auf. Gegengewichte sind nicht erforderlich.

(Fig. 48 u. 49 s. S. 71.)

Der **Dreizylindermotor** mit drei um je 120° versetzten Kurbeln ergibt Ausgleich der freien Massenkräfte, es bleiben aber Momente der freien Massenkräfte von ziemlicher Größe übrig. Um sie in ihrer Wirkung abzuschwächen, müssen rotierende Gegengewichte angebracht werden und zwar entgegengesetzt gerichtet und symmetrisch zur mittleren Zylinderachse gelegen, damit nicht wieder freie Kräfte entstehen. Als geeigneter Platz ergibt sich die Verlängerung der beiden äußeren Kurbelarme. (Abb. 50, 51). Da sie symmetrisch liegen müssen, ergibt sich etwa die gezeichnete Lage senkrecht zur mittleren Kurbel. Die Größe so, daß in vertikaler und horizontaler Richtung etwa gleichgroße Momente als unausgeglichener Teil übrig bleiben.

(Fig. 50 u. 51 s. S. 71.)

Der **Zweizylindermotor** aus Rücksicht auf den Massenausgleich fast ausnahmslos mit um 180° versetzten Kurbeln ausgeführt, ergibt ein recht ungleichmäßiges Kraftmoment, da zwei Zündungen sich unmittelbar folgen. Er ist also nicht viel besser in bezug auf die Verteilung der Drehkraftlinie als der

Digitized by Google

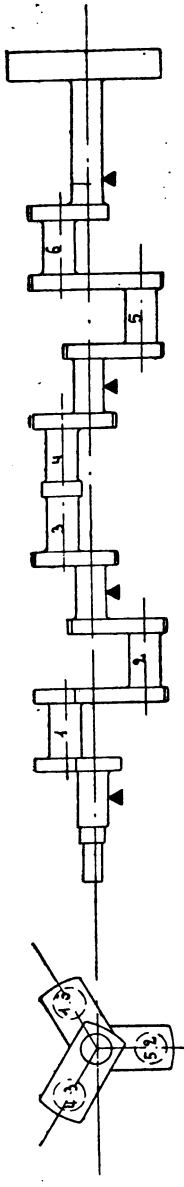


Fig. 46.

Fig. 47.

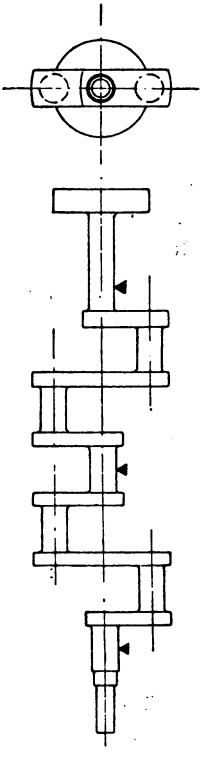


Fig. 48.

Fig. 49.

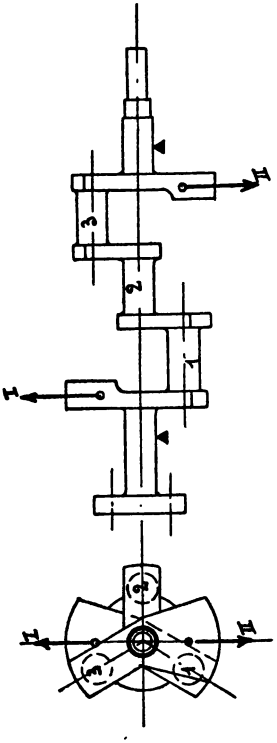


Fig. 50.

Fig. 51.

Digitized by Google

Einzylindermotor. Die freien Massenkräfte heben sich bis auf den Teil, der durch das Fehlerglied bedingt ist, weg. Der Impuls der freien Massenkräfte ist wegen der Übereinanderlagerung der beiden Wirkungen gleich der doppelten Umlaufzahl der Motorwelle, also wenig bedenklich. Gegengewichte zum Ausgleich der schwingenden Massen sind nicht erforderlich. Da die Mitten der beiden Triebwerkteile nicht zusammenfallen, bleiben aber freie Momente übrig, zu deren Milderung Gegengewichte erforderlich werden, die wieder symmetrisch anzubringen sind, um keine freien Zusatzkräfte entstehen zu lassen. Der gegebene Platz für dieselben sind die Verlängerungen der beiden äußeren Kurbelschenkel. Man bemißt diese Gewichte so, daß gleiche Momente in vertikaler und horizontaler Richtung übrig bleiben. Als Resultat der Betrachtung ergibt sich also, daß zwei symmetrische Gegengewichte erforderlich sind und daß freie Kräfte übrig bleiben und freie Momente von konstanter Größe. Fig. 52, 53.

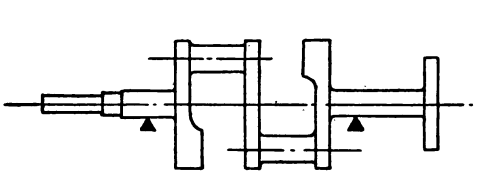


Fig. 52.

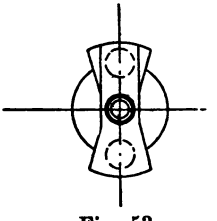


Fig. 53.

Der **Einzylindermotor** erfordert symmetrisch angeordnete Gegengewichte, durch die die Hälfte der schwingenden Massen und die rotierenden Massen ganz ausgeglichen werden. Momente entstehen keine, die übrig bleibenden freien Kräfte sind für alle Lagen in wechselnder Größe vorhanden. Der Impuls bezüglich Erzeugung von Schwingungen ist im zeitlichen Verlauf gleich der Umlaufzahl der Motorwelle, die Gefahr, daß durch Resonanz erhebliche Erzitterungen entstehen, also sehr naheliegend.

Zusammenfassend ist also zu sagen, daß der Mehrzylindermotor in bezug auf den Ausgleich der Massenkräfte mit zunehmender Zylinderzahl immer günstiger wird. Da wie vorn erörtert, Preis und Gewicht ebenfalls bei den üblichen Leistungen den Mehrzylindermotor als vorteilhaft erscheinen lassen, so

Digitized by Google

ist das Vordringen der Vier- und Sechszylinderanordnung durchaus erklärlich und gerechtfertigt.

Die Motoren kleinerer Leistung und Zylinderzahl, insbesondere Ein- und Zweizylinder sollte man mit nicht zu kurzen Schubstangen ausrüsten, um den Wert des Fehlergliedes nicht zu groß werden zu lassen. Ferner folgt aus den Betrachtungen, daß besonders die Sechszylinder- und danach auch der Vierzylindermotoren sich zur Ausbildung als Schnelläufer eignen.

Anhang.

Die hohen Beanspruchungen, die im Leichtmotorenbau zugelassen werden müssen, um die Hauptforderung: „Tunlichst geringes Gewicht für die Leistungseinheit" zu erfüllen, haben dazu geführt, möglichst hochwertige Baustoffe zu verwenden.

Die Metallhüttenindustrie hat eine ganze Reihe solcher Baustoffe in langjähriger zäher Arbeit geschaffen, von denen die wichtigsten in ihren Eigenschaften und der notwendigen Behandlung hier soweit vorgeführt werden sollen, als es für den Konstrukteur notwendig erscheint.

In erster Linie sind die verschiedenen Spezialstähle von Wichtigkeit, weiter diejenigen gießbaren Legierungen, die mit hoher Festigkeit große Zähigkeit vereinigen und dabei möglichst geringes spezifisches Gewicht aufweisen.

Spezialstähle.

Die in Betracht kommenden Stahlsorten sind Legierungen von Eisen, die neben Kohlenstoff einen oder einige der Elemente Nickel, Wolfram, Chrom, Vanadium, Tantal, Silicium, Mangan, Molybdän, Aluminium und Titan enthalten.

Welchen Einfluß die einzelnen Beimengungen auf die mikroskopische Struktur des Stahls, auf seine Festigkeitseigenschaften

Digitized by Google

und seine Härtbarkeit ausüben, ist in erster Linie Sache des Eisenhüttenmannes. Eine ausgedehnte Literatur über diesen Gegenstand ist schon vorhanden, aus der eine Reihe von Arbeiten, die auch für den Konstrukteur wichtige Hinweise enthalten, hier angeführt seien:

Chromnickelstahl und Chromsiliciumstahl, „Stahl und Eisen" 1902, S. 238;

Über Vanadium im Eisen, „Stahl und Eisen" 1905, S. 1208;

Über Spezialstähle, „Stahl und Eisen" 1904, S. 934;

Über Spezialstähle, „Stahl und Eisen" 1905, S. 1092;

Über Vanadiumstahl, „Stahl und Eisen" 1904, S. 610; Berichte über Arbeiten von Leon Guillet;

Versuche mit Spezialstählen. Nickel- und Nickel-Chrom-Stähle („Ir. Coal Tr. Rev" 1909, 13. August, S. 240);

Chrom-Vanadiumstahl „Ir. Coal Fr. Rev" 1909, 9. Juli, S. 57;

Vanadiumstahl, von George Auchy „Jr. Age" 1909, 29. Juli, S. 339;

Das Nickeleisen. Bericht über die Verhandlungen auf dem Kongreß des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik in Brüssel 1906. „Stahl und Eisen" J. 1907, S. 195—197;

Konstruktionsgrundlagen für den Bau von Kraftwagen Z. d. V. D. I. 1907, S. 1325, E. Valentin, Vortrag vor dem Berliner Bez.-Verein;

Über die Bestandteile des Spezialstahls: „Bulletin de la Sociéte de l'Industrie minéral: L. Guillet, 1907, Band 7, Heft 4, S. 115—120;

Eigenschaften und Verwendung des Vanadiumstahls „The Iron Trade Review" 1907, 11. Juli, S. 68—70;

Prüfung von Vanadiumstahl „The Iron Trade Review" 1907, 27. August, S. 344—346;

Über Vanadiumstahl J. Kent-Smith „American-Machinist" 1907, 3. August, S. 87—88;

Neue Untersuchungen über Vanadiumstahl „Revue de la Metallurgie 1907, Augustheft, S. 775—783; L. Guillet;

Über Tantalstahl, L. Guillet „Comtes rendus hebdomadaires des séances de l'Academie des Sciences" 1907, 29. Juli, S. 327—329;

Über Borstahl, L. Guillet „Revue de la Metallurgie" 1907, Augustheft, S. 784—796;

Digitized by Google

Spezialstahl für Automobil-Konstruktionen, F. Lake, „American Machinist“ 1907, 30.März, S. 376 382;
Spezialstahl für Automobilbau, Thos. J. Fay, „American Machinist“ 1907, 6. Juli, S. 874—879;
Die Verwendung von Stahllegierungen im Automobilbau: Elwood Haynes „Engineering News“ 1907, 20. Juni, S. 677—678;
Spezialstahl für Motorwagen, Thos. J. Fay „The Iron and Coal Trades Review“ 1907, 7. Juni, S. 2029—2032;
Anlaß- und Schneideversuche mit Schnelldrehstähle „Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge“ 1907, 15. Mai, S. 315—320;
Spezialstahl, Dr. H. C. H. Corpenter: Die Entwickelung des modernen Werkzeugstahls „Engineering“ 1907, 3. Mai, S. 569—571, 17. Mai, S. 633—634;
Wolframstahl, Thomas Swinden: Kohlenstoff-Wolframstähle (Vortrag vor dem „Iron and Steel Institute“) „Metallurgie 1907, 8. Juni, S. 349—370;
Fabrikation von Ferro-Vanadium in den Vereinigten Staaten „L'Echo des Mines et de la Metallurgie“ 1907, 17. Juni, S. 687;
Vanadiumstahl „Zeitschrift für Dampfkessel- und Maschinenbetrieb“ 1907, Nr. 15, S. 151;
Einige Eigenschaften des Vanadiumstahls „American Machinist“ 1907, 18. Mai, S. 632—634. E. F. Lake;
Vanadiumstahl „The Iron Age-“ 1907, 30. Mai, S, 1661, J. Kent-Smith.

Die Wärmebehandlung dieser verschiedenen Stahlsorten ist von den erzeugenden Werken genau vorgeschrieben und diese Behandlung muß aufs genaueste eingehalten werden, wenn dieselben ihre hochwertigen Eigenschaften entfalten sollen.

Die hohe Zähigkeit, die diese Spezialstähle auszeichnet, wird erst durch Erwärmen auf bestimmte Temperaturen und nachfolgendes Abschrecken in Wasser, Öl oder Erkaltenlassen an der Luft erzeugt. Diese Operation wird vielfach zweimal hintereinander verlangt oder ein Anlassen bei bestimmter Temperatur nach dem Abschrecken.

Für die Benutzung am bequemsten sind diejenigen Stahlsorten, bei denen Abkühlung an der Luft genügt, weil dabei nicht so leicht ein Verziehen des fertigen Gegenstandes eintritt, als beim Abschrecken in einer Flüssigkeit.

Digitized by Google

Oberflächenhärte erhalten die Spezialstähle durch Einsetzen an den betreffenden Stellen. Das heißt, die zu härtenden Stellen werden eingehüllt in ein kohlenstoffreiches Pulver auf eine Temperatur von ca. 1000° erwärmt. Hierauf bis auf eine Temperatur von ca. 600° abkühlen lassen, wieder erwärmt und bei 900° abgeschreckt.

In einem Vortrag von John A. Mathews, veröffentlicht in dem „Journal of the Franklin-Institute" 1909, Maiheft, S. 379 u. f. führt der Verfasser unter anderem folgendes aus:

Es gibt keinen Stahl, der für alle Zwecke tauglich ist, eine vorsichtige Auswahl, dem jeweiligen Zwecke entsprechend ist stets notwendig. Ferner ist die richtige Warmbehandlung, die jede einzelne Stahlsorte erfordert, genau einzuhalten, um Mißerfolge zu vermeiden. Es ist zu beachten, daß ein minderwertiger Stahl zwar durch keine noch so sorgfältig ausgeführte Behandlung die besten Eigenschaften erhält, daß jedoch eine ungeeignete Behandlung den besten Stahl wertlos machen kann.

Im amerikanischen Automobilbau wird für Nickelstahl in der Regel folgende Zusammensetzung verlangt: 0,20 bis 0,25 C; 3,50 Ni; 0,60—0,90 Mn; S und P nicht über 0,04%.

Bei dem angegebenen Kohlenstoff-Gehalt soll man mit dem Mangangehalt nicht über die angegebenen Grenzen hinausgehen. Für Kurbelwellen wird vielfach ein Stahl von höherem Kohlenstoffgehalt verwendet, während für Teile, die nur Oberflächenhärtung erhalten, ein Stahl mit niedrigerem Kohlenstoffgehalt vorgezogen wird. Die Herstellung dieser Stähle erfolgt meist im gewöhnlichen Martinofen, aber auch im elektrischen Ofen.

Chrom-Vanadiumstahl wird gewöhnlich im Tiegel- oder elektrischen Ofen erzeugt, kann jedoch auch im Martinofen hergestellt werden. Ein hoher Kohlenstoffgehalt macht ihn für Getriebe und Federn, ein niedriger Kohlenstoffgehalt für Achsen, Wellen und Steuerungsgelenke (mit Oberflächenhärtung) geeignet. Ein gewisser Gehalt an Chrom und Vanadium bei entsprechendem Mangan- und Kohlenstoffgehalt läßt den Stahl dem Nickelchrom-, Nickel- und Silizium-Manganstählen an Güte gleichkommen.

Chrom-Nickelstahl mit etwa 0,5% Kohlenstoff wird zu Getrieben und Federn, ein solcher mit etwa 0,25% Kohlenstoff wird zu Achsen, Wellen und Schmiedestücken verwendet. Der Nickelgehalt schwankt zwischen 2% und 3,5%. Der Stahl

Digitized by Google

hat ausgezeichnete statische Eigenschaften, doch macht das Schmieden und Bearbeiten größere Schwierigkeiten, auch die Wärmebehandlung ist umständlicher als die des Chrom-Vanadiumstahls.

Silizium-Mangan und Silizium-Chromlegierungen mit mittlerem Kohlenstoffgehalt finden für Federn und Getriebe Verwendung. Sie sind gegen Stoßbeanspruchung empfindlicher, auch ist die Warmbehandlung derselben schwieriger.

Chromstahl mit hohem Kohlenstoffgehalt wird vorwiegend für Kugeln und Kugellager verwendet.

Wolframstahl wird allgemein zur Herstellung von Magneten benutzt.

Über die beiden, vorwiegend in Gebrauch befindlichen Verfahren Konstruktionsteile zu härten, entweder durch Einsetzen und nachfolgendes Abschrecken in Öl oder durch direktes Abschrecken führt der Verfasser auf Grund langjähriger Versuche bezüglich der Getriebe folgendes aus:

1. Die Festigkeit eines im Einsatz gehärteten Getriebes kommt der eines in Öl abgeschrecktem gleich, vorausgesetzt, daß in beiden Fällen Stahl von derselben Art und geeigneter Zusammensetzung der richtigen Wärmebehandlung unterworfen wurde.

2. Im Einsatz gehärtete Getriebe widerstehen Stoßbeanspruchungen besser als im Ölbad abgeschreckte.

3. Erstere haben einen geringeren Verschleiß, doch arbeiten sie nicht so geräuschlos.

Über die Oberflächenhärtung hat Guillet folgende Leitsätze aufgestellt:

Um eine Brüchigkeit des zu härtenden Stückes, sowohl innen als an der Oberfläche zu vermeiden, aber doch eine gute Oberflächenhärtung und eine gleichmäßige Kohlung zu erzielen, muß man:

1. Einen Stahl mit weniger als 0,12% Kohlenstoff und niedrigem Mangangehalt (unter 0,30%) verwenden.

2. Die Oberflächenhärtung bei einer Temperatur von 850° bis 1050° C. vornehmen (je höher die Temperatur, desto schneller die Härtung) und den gekohlten Stahl bis eben unter den Umwandlungspunkt (bei etwa 600°) abkühlen lassen.

3. Den Stahl wieder erhitzen und bei 900° C. abschrecken, um ihn im Inneren zäh zu machen.

Digitized by Google

4. Den Stahl zum zweitenmal bei 800° C. abschrecken, um eine nicht brüchige Oberfläche zu erzielen.

Als Einsatzpulver empfiehlt Guillet ein Gemisch bestehend aus 60% Holzkohle und 40% Barium-Karbonat. Die angegebenen Zahlen für die Temperaturen beziehen sich auf Kohlenstoffstahl, die entsprechenden Zahlen für Nickelstahl liegen tiefer.

Für den Konstrukteur sind die in den Literaturangaben meist allein enthaltenen Bruchfestigkeiten von geringerem Interesse, als die Kenntnis der Elastizitätsgrenzen, da die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen im allgemeinen stets unter dieser Grenze bleiben müssen, soll das Material nicht ermüden. Da alle diese Stahlsorten außerordentlich zähe sind, Elastizitätsgrenze und Bruchbelastung ziemlich weit auseinander liegen, ist eine nur selten auftretende Überschreitung der Elastizitätsgrenze nicht allzu bedenklich. Das ist eine außerordentlich günstige Eigenschaft dieser Spezialstähle, denn solche Fälle sind gerade im Leichtmotorenbau nicht sehr selten, daß unbeabsichtigt, etwa bei Unfällen, eine rechnerisch gar nicht faßbare, ungewöhnlich hohe Beanspruchung von Einzelteilen vorkommt.

Einige Werte seien hier angeführt:

Ein Nickelstahl, der 0,4% Kohlenstoff und 0,8 bis 1,0% Mangan enthielt, ergab bei

Nickelgehalt	Elastizitätsgrenze in kg/qcm	Bruchgrenze in kg/qcm	Dehnung in %
1,20 %	3680	6300	21,0
2,15 %	3640	6400	24,5
4,25 %	4480	7360	20,0

Ein Chrom-Nickelstahl von 0,25—0,45% Kohlenstoff, 0,275 bis 0,60% Chrom und 0,25—0,45% Kohlenstoff ergab:

Bei 900° C ausgeglüht und langsam abgekühlt 3460 bis 4880 kg/qcm Elastizitätsgrenze und 5380—7300 kg/qcm Bruchgrenze bei 15—20% Dehnung.

Derselbe Stahl bei 850° C gehärtet und bei 350° angelassen 5840—9770 kg/qcm Elastizitätsgrenze und 7800 kg/qcm Bruchgrenze bei 8—12% Dehnung.

Digitized by Google

Aus den angegebenen Werten darf der Konstrukteur natürlich keineswegs den Schluß ziehen, daß er die einzelnen Konstruktionsteile bis dicht an die Elastizitätsgrenze normaler Weise belasten dürfe, da die Bruchgrenze ja noch hinreichend weit entfernt liege, sondern es ist zu beachten, daß jedes Material, das des öfteren über die Elastizitätsgrenze hinaus belastet wird, ermüdet und dann sicher zum Bruche führt. Die große Spannung zwischen beiden Grenzen hat nur das Gute, daß unvorhergesehene Überlastungen nicht sofort zum Bruche führen, also für den Benützer der Maschine eine gewisse Verminderung der Gefahr und für den Konstrukteur eine Verringerung seiner Verantwortung bedeuten.

Aus den bekannt gewordenen Versuchswerten hat Ewerding die zulässigen Beanspruchungen verschiedener Spezialstähle nach Art der sonst im Maschinenbau üblichen drei Belastungsarten hergeleitet und im „Motorwagen 1908, S. 628 u. f. veröffentlicht.

Fall a der Belastung bedeutet dabei wie üblich ruhende Last,

Fall b der Belastung bedeutet dabei wie üblich Belastungswechsel von 0 bis zum Größtwert,

Fall c der Belastung bedeutet dabei wie üblich Belastungswechsel von positiven Größtwert bis zum gleichgroßen negativen Größtwert.

k_z = zulässige Beanspruchung auf Zug
k_b = „ „ „ Biegung
k_d = „ „ „ Druck
k_t = „ „ „ Verdrehung
k_s = „ „ „ Schub

Digitized by Google

Krupp. Spezial-Automobilstähle.

Werkbezeichnungen		A7J z	A.12.P z	C.46.O z	E.F.36.O z	E.F.36.O s
Belastungsfall		naturhart	naturhart	naturhart	schwach gehärtet	stärker gehärtet
k_z	a	1350—1650	1650—1950	2200—2500	2700—3000	4000—4300
	b	900—1100	1100—1300	1460—1660	1800—2000	2660—2860
	c	450— 550	550— 650	730— 830	900—1000	1330—1430
k_b	a	1350—1650	1650—1950	2200—2500	2700—3000	4000—4300
	b	900—1100	1100—1300	1460—1660	1800—2000	2660—2860
	c	450— 550	550— 650	730— 830	900—1000	1330—1430
k_d	a	1350—1650	1650—1950	2200—2500	2700—3000	4000—4300
	b	900—1100	1100—1300	1460—1660	1800—2000	2660—2860
k_t	a	1020—1260	1240—1480	1650—1890	2000—2240	3000—3240
	b	680— 840	820— 980	1100—1260	1320—1480	2000—2160
	c	340— 420	410— 490	550— 630	660— 740	1000—1050
k_s	a	1080—1320	1320—1560	1760—2000	2160—2400	3200—3440
	b	720— 880	880—1040	1160—1320	1440—1600	2140—2300
	c	360— 440	440— 510	580— 606	720— 800	1070—1150

Werkbezeichnungen		E.F.600 z	A.4.J z	E.112.O z	E.120.O z	S.J.H z
Belastungsfall		gehörtet	gehörtet	gehärtet	gehärtet	gehärtet
k_z	a	4100—4400	1350—1650	1800—2100	1950—2250	4000—6000
	b	2720—2920	900—1100	1200—1400	1300—1500	2660—4000
	c	1360—1460	450— 550	600— 700	650— 750	1330—2000
k_b	a	4100—4400	1350—1650	1800—2100	1950—2250	4000—6000
	b	2720—2920	900—1100	1200—1400	1300—1500	2660—4000
	c	1360—1460	450— 550	600— 700	650— 750	1330—2000
k_d	a	4100—4400	1350—1650	1500—2100	1300—1500	4000—6000
	b	2720—2920	900—1100	1200—1400	650— 750	2660—4000
k_t	a	3070—3310	1000—1240	1350—1590	1460—1700	3000—4500
	b	2040—2200	660— 820	900—1060	960—1120	2000—3000
	c	1020—1100	330— 410	450— 530	450— 560	1000—1500
k_s	a	3280—3520	1080—1320	1440—1680	1560—1800	3200—4800
	b	2180—2340	720— 880	960—1120	1040—1200	2130—3200
	c	1090—1170	360— 440	450— 560	520— 600	1065—1600

Digitized by Google

Bismarckhütte. Automobil-Spezialstähle.

Werkbezeichnung / Belastungsfall		F.A.F im Einsatz härtbar roh	N.C.6 roh	N.C.4 roh	N.4.E im Einsatz gehärtet	N.C.4 im Einsatz gehärtet
k_z	a	1250—1550	2250—3000	1875—2500	2500—3000	3750—5050
	b	830—1030	1500—2000	1250—1660	1660—2000	2500—3300
	c	415— 515	750—1000	625— 830	830—1000	1250—1650
k_b	a	1250—1550	2250—3000	1875—2500	2550—3000	3750—5050
	b	830—1030	1500—2000	1250—1660	1660—2000	2500—3300
	c	415— 515	750—1000	625— 830	830—1000	1250—1650
k_d	a	1250—1550	2250—3000	1875—2500	2500—3000	3750—5050
	b	830—1030	1500—2000	1250—1660	1660—2000	1250—1650
k_t	a	940—1180	1600—2200	1410—1875	1875—2200	2800—3750
	b	620— 780	1120—1500	940—1250	1250—1500	1860—2500
	c	310— 390	560— 750	470— 625	625— 750	930—1250
k_s	a	1000—1240	1800—2400	1500—1740	2000—2400	3000—4000
	b	660— 820	1200—1600	1000—1160	1330—1600	2000—2600
	c	330— 410	600— 800	500— 580	665— 800	1000—1300

Krefelder Stahlwerk. Automobil-Spezialstähle.

Werkbezeichnung / Belastungsfall		K.St.3 naturhart	Z.R.2 naturhart	K.St.2 naturhart	K.St.1 im Einsatz härtbar	Z.R.1 im Einsatz härtbar
k_z	a	1625—1925	1400—1700	2200—2500	1125—1425	1400—1700
	b	1080—1280	940—1140	1460—1660	750— 950	940—1140
	c	540— 640	470— 570	730— 830	375— 475	470— 570
k_b	a	1625—1925	1400—1700	2200—2500	1125—1425	1400—1700
	b	1080—1280	940—1140	1460—1660	750— 950	940—1140
	c	540— 640	470— 570	730— 830	375— 475	470— 570
k_d	a	1625—1925	1400—1700	2200—2500	1125—1425	1400—1700
	b	1080—1280	940—1140	1460—1660	750— 950	940—1140
k_t	a	1220—1460	1050—1290	1650—1900	845—1085	1050—1290
	b	820— 980	700— 860	1100—1260	560— 720	700— 860
	c	410— 490	350— 430	550— 630	280— 360	350— 430
k_s	a	1130—1540	1120—1360	1760—2000	900—1140	1120—1360
	b	860—1020	740— 900	1170—1330	600— 760	740— 900
	c	430— 510	370— 450	585— 665	300— 380	370— 450

Digitized by Google

Gießbare Baustoffe.

Von den gießbaren Baustoffen stehen für den Konstrukteur im Vordergrund des Interesses die verschiedenen Aluminiumlegierungen. Reinaluminium schmiert beim Fräsen und hat zu geringe Festigkeit. Ein Zusatz von Kupfer erhöht das spezifische Gewicht nur wenig, verbessert aber die Festigkeitseigenschaften erheblich, wie nachstehende Zusammenstellung zeigt, die einer Veröffentlichung des Mitteleuropäischen Motorwagen-Vereins, Jahrg. 1909, S. 457, entnommen ist.

Baustoff	Spez. Gewicht	Streckgrenze kg/qcm	Zugfestigkeit kg/qcm	Dehnung in %
Reines Aluminium 5 mm Blech hart		1340	1380	3,5
Reines Aluminium 2 mm Blech hart	2,96	1590	1650	2,5
Aluminium mit 2% Cu 8 mm Blech hart . . .	bis	2300	2450	3,5
Aluminium mit 3% Cu 8 mm Blech hart . .	2,99	2610	2760	2,5
Aluminium mit 4% Cu 8 mm Blech hart . . .		2750	2950	2,5

Aluminum-Bronzen sind für Stellen, wo sonst gewöhnliche Bronze verwendet wurde, ebenfalls aussichtsreich, der Zusatz von Aluminium verringert das spezifische Gewicht, erhöht die Festigkeit, während er die Dehnung allerdings verringert.

Bronze-Aluminium-Legierungen.

Zusammensetzung	Spez. Gewicht	Streckgrenze kg/qcm	Zugfestigkeit kg/qcm	Dehnung in %
Bronze mit 5% Aluminium geschmiedet	8,320	1300	3800	50,0
Bronze mit 7% Aluminium geschmiedet	7,917	1550	4250	53,0
Bronze mit 8% Aluminium geschmiedet	7,749	2000	4770	43,0
Bronze mit 9% Aluminium geschmiedet	7,651	3000	5370	17,5
Bronze mit 10% Aluminium geschmiedet	7,522	3250	5780	15,7

Digitized by Google

Die Dürener Metallwerke bringen unter der Bezeichnung Duraluminium eine Legierung mit 90% Aluminium sowie Kupfer, Magnesium und Mangan in den Handel, deren spezifisches Gewicht 2,75—2,84 beträgt. Die Legierung läßt sich durch entsprechende Wärmebehandlung und durch entsprechende Verarbeitung entweder als ein weiches schmied- und ziehbares, oder als ein härteres Material mit geringerer Dehnung gewinnen.

Streckgrenze . . . . . 1882—2575 kg/qcm
Zugfestigkeit . . . . . 3472—4528 „
Dehnung . . . . . 23%—18%.

Den Einfluß der Bearbeitung zeigen folgende Versuchsreihen:

Werkbezeichnung	Legierung H			Legierung 681 A			Legierung 681 B		
spez. Gew.	2,750			2,789			—		
Festigkeitseigenschaft	Streckgr.	Bruchf.	Dehnung	Streckgr.	Bruchf.	Dehnung	Streckgr.	Bruchf.	Dehnung
Weiches Blech 7 mm stark	1900	3600	25 %	2470	4180	21,1 %	2810	4350	17,6 %
Ausgewalzt auf 6 mm	—	3800	10 %	4100	4760	9,0%	4700	5000	8,0%
„ 5 mm	—	4200	6,3%	—	—	—	—	5270	5,3%
„ 4 mm	—	4350	5,0%	4860	5270	5,0%	—	5550	4,0%
„ 3 mm	—	4550	5,0%	—	—	—	—	5660	3,4%
„ 2 mm	—	4750	4,0%	5300	5600	4,8%	—	5850	2,5%

Werkbezeichnung	Legierung 681 C			Legierung 681 D		
spez. Gewicht	—			2,833		
Festigkeitseigensch.	Streckgr.	Bruchf.	Dehnung	Streckgr.	Bruchf.	Dehnung
Weiches Blech 7 mm stark	2860	4520	17,6 %	2590	4590	17,5 %
Ausgewalzt auf 6 mm	4770	5150	7,4 %	4120	5220	8,6 %
5 mm	—	5400	5,2 %	4520	5520	6,6 %
4 mm	—	5620	4,5 %	—	—	—
3 mm	—	5800	3,5 %	5300	5900	4,6 %
2 mm	—	6030	3,1 %	5410	6210	3,0 %

Digitized by Google

Als ein weiterer sehr wichtiger Baustoff für hochbeanspruchte Teile und verwickelte Formen kommt Stahlguß in Frage, der nur den Übelstand aufzuweisen hat, daß er zu teuer ist und nicht so dünnwandig gegossen werden kann, als es hier wünschenswert wäre.

Es ist deshalb schon vielfach sein Ersatz durch Temperguß erörtert worden und für billige Wagen auch durchgeführt worden.

Für die Verwendung von Temperguß spricht, daß er neben seiner Billigkeit (ca. 75 M. für 100 kg gegen 105—110 M. bei Stahlguß) dünnwandiger gegossen werden kann. Man kann 3 mm Wandstärke bequem erreichen, während Stahlguß von 4 mm schon große Schwierigkeiten macht. Er ist ferner wesentlich sauberer im Aussehen.

Gegen die Verwendung von Temperguß spricht aber seine wesentlich geringere Festigkeit, wie aus der Gegenüberstellung von Festigkeitswerten nach „Iron Age“ 1909 hervorgeht.

Bester Temperguß.

Festigkeitseigensch.	Elastizitätsgr. kg/qcm	Bruchfestigk. kg/qcm	Dehnung %	Kontraktion %
Probe 1	1980	3190	12,5	19,5
Probe 2	2030	3190	12,0	19,5
Probe 3	2000	3150	12,0	19,9
		Stahlguß.		
Probe 1	2620	5260	37,0	56,6
Probe 2	2600	5250	31,0	52,5
Probe 3	2600	5250	32,0	52,0

Noch deutlicher wird aber die Überlegenheit von Stahlguß dargetan durch folgenden Versuch. Ein Probestab wurde in der Mitte drehbar gelagert und an seinen Enden so belastet, daß er sich um 1—2 mm durchbog und hierauf umlaufen lassen. Der Stab gerät dabei in Schwingungen und erfährt dabei Erschütterungen und Beanspruchungen, die denen beim praktischen Gebrauch auftretenden sehr ähnlich sind.

Bei diesem Versuch brachen 2 Probestäbe aus Temperguß nach 8600 bzw. 9700 Umdrehungen, einer sogar schon nach 1700,

Digitized by Google

während 3 untersuchte Stahlgußstäbe über 30 000 000 Umdrehungen aushielten, ohne zu brechen.

Aus der Gegenüberstellung folgt, daß man Temperguß nur für solche Teile verwenden darf, die den Erschütterungen der Fahrt nicht so stark ausgesetzt sind. Insbesondere kleine Hebel für Zündungs- und Vergaserreguliergestänge, Schutzkappen für Naben, Flansche für Auspufftöpfe, Böckchen für Bergstützen, Fußplatten für Fußhebel u. dgl. Teile können durch Verwendung von Temperguß verbilligt werden. Aber auch Getriebegehäuse, Hinterradachsgehäuse und Rahmenverbindungsteile aus Temperguß finden Anwendung.

Das Benzin.

Das Benzin wird durch fraktionierte Verdampfung aus Erdöl dargestellt. Da Erdöl selbst ein Gemisch der verschiedensten Kohlenwasserstoffe ist, so folgt daraus, daß Benzin ebenfalls, chemisch genommen, keine einfache Verbindung ist, sondern ein Gemisch derjenigen Bestandteile des Erdöls ist, die zwischen den für Benzin vorgeschriebenen Grenzen verdampfen.

Unter Benzin versteht man die zwischen 60° und 120° übergehenden Bestandteile des Erdöls.

Das Gemisch hat ein spezifisches Gewicht von 0,68—0,72. Nach Höfer, das Erdöl und seine Verwandten, gilt folgende Einteilung, über die jedoch auch in Handelskreisen keine völlige Übereinstimmung herrscht.

Einteilung der Erdöldestillate.

	Bezeichnung	spez. Gewicht.	Siedepunkt
Flüchtige Öle	Petroleumäther	0,65 —0,66	35°— 50°
	Gasolin	0,66 —0,68	50°— 70°
	Benzin (C-Petroleumnaphta)	0,67 —0,707	65°— 90°
	Ligroin (B-Petroleumnaphta)	0,707—0,722	80°—110°
	Putzöle (A-Petroleumnaphta)	0,722—0,737	100°—150°
Leuchtöle	Kaiseröl	0,78 —0,80	über 150°
	Leuchtöl I amerikanisch	0,80 —0,81	„
	Leuchtöl II russisch	0,82 —0,825	„
	Standard white	0,808—0,812	„
	Prime white	0,80 —0,806	„
	Astralin	0,85 —0,86	„

Digitized by Google

	Bezeichnung	spez. Gewicht	Siedepunkt
Schweröle	Solaröl	0,86 —0,88	190°—250°
	Mischöle	0,88 —0,89	190°—250°
	Zylinderöle I	0,895—0,90	190°—250°
	usw. nur als Schmieröle verwendbar		
			Flammpunkt
	Rohöl oder Rohnaphtha	0,81—0,88	24°—35°

Die chemischen und physikalischen Größen der Kohlenwasserstoffe der Sumpfgasreihe, aus denen das Benzin stammt, sind nach E. Sorel: Carburation et combustion dans les moteurs a alcool:

Kohlenwasserstoffe der Sumpfgasreihe.

Bezeichnung	Chemische Formel	Spez, Gewicht	Molekulargewicht	Siedepunkt Grad	Spez. Vol. des Dampfes cbm/kg
Pentan	$C_5 H_{12}$	0,626	72	36	0,3100
Hexan.	$C_6 H_{14}$	0,663	86	68,5	0,2595
Heptan	$C_7 H_{16}$	0,688	100	98	0,2232
Octan	$C_8 H_{18}$	0,719	114	125	0,1957
Nonan.	$C_9 H_{20}$	0,742	128	130	0,1744
Decan	$C_{10} H_{22}$	0,757	142	161	0,1572
Indecan	$C_{11} H_{24}$	0,756	156	194,5	0,1431
Dodecan . . .	$C_{12} H_{26}$	0,755	170	214,5	0,1313
Tredecan . . .	$C_{13} H_{28}$	0,778	184	234	0,1213
Tetradecan. . .	$C_{14} H_{30}$	0,796	198	252	0,1127
Tentadecan . .	$C_{15} H_{32}$	0,809	212	270	0,1052

Aus der Tabelle geht hervor, daß die Bestandteile Hexan Heptan und Octan die wesentlichsten Bestandteile des Benzins darstellen. Die Art der Herstellung bringt es mit sich, daß leichter und schwerer destillierbare Bestandteile in demselben vorkommen, auch werden unter Einfluß der starken Nachfrage absichtlich Mischungen aus zu leichten und zu schweren Bestandteilen hergestellt, wenn nur nach dem spezifischen Gewicht gesehen wird. Um zu prüfen, ob das gelieferte Benzin nicht durch Mischen zu leichter und zu schwerer Bestandteile hergestellt

Digitized by Google

ist, ist die übliche Bestimmung des spezifischen Gewichtes, wie sie meist geübt wird, nicht ausreichend, denn es ist leicht ersichtlich, daß eine solche Mischung, trotzdem ihr spezifisches Gewicht in den üblichen Grenzen liegt, zu Anständen bei der Vergasung führt, da die leichteren Bestandteile zu rasch verdunsten, die schweren aber in Tropfenform mitgerissen zur Verrußung der Zündkerzen, Ventile und Kolben führen.

Die Prüfung des Benzins wird deshalb in der Weise vorgenommen, daß man ein bestimmtes Volumen in graduiertem Zylinder, bei 60° beginnend, im Ölbad verdampft und mit der Erwärmung bis auf 120° geht. Notiert man die bei bestimmten Temperaturen verdampften Volumen und trägt dieselben als Ordinaten in ein rechtwinkliges Koordinatensystem ein, als Abszissen gleiche Temperaturabstände wählend, so läßt die Kurve deutlich erkennen, wie die Zusammensetzung war. Das Ideal ist eine gerade Linie, im Koordinatenanfang beginnend. Lag eine Mischung von zu leichten und zu schweren Kohlenwasserstoffen vor, so steigt die Kurve anfänglich schneller, nähert sich in der Mitte der Horizontalen, um am Ende wieder stark anzusteigen.

Die **theoretisch erforderliche** Luftmenge zur vollkommenen Verbrennung berechnet man am genauesten aus der chemischen Analyse des Brennstoffes in bekannter Weise.

Eine Bestimmung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes kann man im Maschinenlaboratorium mit genügender Genauigkeit so durchführen, daß man über ein dem Gewicht nach bekanntem Quantum Benzin, das in ein Glasrohr gefüllt ist, einen Strom getrockneter Luft leitet und die Benzindämpfe in einem mit Kupferoxyd beschickten Verbrennungsrohr verbrennt, den entstehenden Wasserdampf im Chlorkalziumrohr, die Kohlensäure in Kalilauge auffängt, und den Gewichtsanteil beider bestimmt.

Im Mittel sind für die theoretisch vollkommene Verbrennung von 1 kg Benzin 14,9—15,15 kg Luft bezüglich 11,5—11,75 cbm Luft erforderlich.

Die Auspuffgase von Motoren untersucht man mit Hilfe des bekannten Orsatapparates auf Kohlensäure und Sauerstoff bezw. auf Kohlenoxyd, um zu bestimmen, ob mit Luftüberschuß oder Luftmangel gearbeitet wird. Vielfach findet man Sauer-

Digitized by Google

stoff und Kohlenoxyd gleichzeitig, ein Beweis, daß eine vollkommene Mischung von Luft und Brennstoff nicht erreicht wurde.

Die theoretische Behandlung des Verbrennungsvorganges auf Grund der Analyse des Brennstoffes ergibt, wenn 1 kg Benzin z. B. aus 0,15 kg H und 0,85 kg O besteht folgende Werte:

$$2 \text{ kg } H_2 + 16 \text{ kg } O = 18 \text{ kg } H_2O$$

Also 1 kg H mit 8 kg O ergibt 9 kg H_2O. 0,15 kg H verlangen 1,2 kg O und ergeben 1,35 kg H_2O. Einem kg O entsprechen $\frac{1}{0{,}23} = 4{,}35$ kg Luft oder $\frac{4{,}35}{1{,}29} = 3{,}37$ cbm Luft, also verlangen 0,15 kg Wasserstoff $1{,}2 \,.\, 3{,}37 = 4{,}04$ cbm Luft. Da das spezifische Gewicht von Wasserdampf 0,81 ist, so entstehen $\frac{1{,}35}{0{,}81} = 1{,}67$ cbm Wasserdampf.

Weiter gibt die Verbrennungsgleichung für Kohlenstoff

$$12 \text{ kg } C + 32 \text{ kg } O_2 = 44 \text{ kg } CO_2.$$

Oder 1 kg C mit $\frac{32}{12} = 2{,}67$ kg O verbrennt zu $\frac{44}{12} = 3{,}67$ kg CO_2. 0,85 kg C mit $\frac{32 \,.\, 0{,}85}{12} = 2{,}27$ kg O verbrennt zu $\frac{44 \,.\, 0{,}85}{12} = 3{,}12$ kg CO_2.

Auf Luft statt Sauerstoff umgerechnet:

0,85 kg C verbrennen mit $2{,}27 \,.\, 3{,}37 = 7{,}65$ cbm Luft und es entstehen $\frac{3{,}12}{1{,}98} = 1{,}58$ cbm CO_2.

Also zusammen: 1 kg Benzin verbrennt mit 11,69 cbm Luft zu 1,67 cbm Wasserdampf und 1,58 cbm Kohlensäure. (Die Luft bei 0° C und 760 mm Barometerstand gemessen.)

Da im Orsatapparat der Kohlensäuregehalt in Prozenten der nicht kondensierbaren Verbrennungsprodukten ermittelt wird, so würde bei oben angenommener Zusammensetzung des Benzins folgender Kohlensäuregehalt nachgewiesen:

Die Verbrennungsprodukte, soweit sie nicht aus Wasserdampf bestehen, enthalten:

1,58 cbm Kohlensäure + den Stickstoff, der zu den 1,2+2,27 = 3,47 kg O gehört.

Digitized by Google

Zu 1 kg O gehören 3,35 kg N oder $\frac{3,35}{1,156} = 2,66$ cbm N.

Zu 3,47 kg O also $3,47 . 2,66 = 9,23$ cbm N.

Also sind die nicht kondensierbaren Verbrennungsprodukte 1,58 cbm CO_2 + 9,23 cbm N = 10,81 cbm.

Der Kohlesäuregehalt in Prozenten also $\frac{1,57 . 100}{10,81} = 14,55\%$.

Wird bei der Untersuchung der Auspuffgase weniger Kohlensäure nachgewiesen und ist überflüssiger Sauerstoff in den Verbrennungsprodukten, so ist dies ein Zeichen von Luftüberschuß. Dieser Befund soll die Regel sein.

Um nachzurechnen, wieviel Luftüberschuß vorhanden ist, kann man, wenn die Kohlensäuremenge der vollkommenen Verbrennung bestimmt wurde, folgendermaßen überlegen. Wenn z. B. nur 12% CO_2 bei Verbrennung des Benzins vom letzten Beispiel entstehen, so sind die Rückstände soweit mit Luft verdünnt, daß das vorhandene Quantum Kohlensäure nur noch 12% des Gemisches ausmacht. Es sind also nicht mehr 100 Raumteile vorhanden, sondern $\frac{100 . 14,55}{12} = 121,2$ Raumteile, oder der Luftüberschuß beträgt 21,2% der unkondensierbaren Verbrennungsprodukte. Für 1 kg Benzin sind also $10,80 . 0,212 = 2,29$ cbm Luft mehr verwendet worden, als theoretisch nötig gewesen wären, es wurden also 11,69 + 2,29 = 13,98 cbm Verbrennungsluft zugeführt, oder anders ausgedrückt, es wurden $\frac{13,98 . 100}{11,69} = 119,6$ der theoretischen Luftmenge verbraucht oder es wurde mit 19,6% Luftüberschuß gearbeitet.

In dem Beispiel wurde mit runden Zahlen für die spezifischen Gewichte u. Atomgewichte gerechnet; die genauen Zahlen sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Digitized by Google

Chemisch-physikalische Konstanten für vollkommene Gase.

Namen	Chem. Zeichen	Atom-zahl	Atom-gew.	Molekulargewichte abgerundet $H_2=2$	Molekulargewichte genau für $H_2=2$	Molekulargewichte genau für $O_2=32$	Dichte Luft = 1	Spez. Gew. kg/cbm
Wasserstoff	H_2	2	1,0	2,0	2,0	2,006	0,0693	0,08956
Sauerstoff	O_2	2	16	32	31,9	32,0	1,1056	1,4297
Stickstoff	N_2	2	14	28	28,02	28,8	0,971	1,255
Kohlenoxyd	CO	2	14	28	27,93	28,0	0,967	1,251
Stickoxyd	NO	2	15	30	—	30,4	1,031	1,343
Kohlensäure	CO_2	3	14,6	44	43,87	44,0	1,529	1,965
Luft trocken	—	—	—	29	28,88	—	1,000	1,2932
Wasserdampf	H_2O	3	6,0	18	—	18,0	0,623	0,806
Acetylen	C_2H_2	4	6,5	26	25,94	26,01	0,915	1,161
Sumpfgas	CH_4	5	3,2	16	15,97	16,02	0,554	0,715
Äthylen	C_2H_4	6	4,7	28	27,94	28,02	0,974	1,251
Alkohol	C_2H_6O	8	5,75	46	—	46,03	1,601	2,079
Proxylen	C_3H_6	9	4,7	42	41,91	—	1,451	1,876
Benzol	C_6H_6	12	6,5	78	77,82	78,04	2,695	3,493
Kohlenstoff	C_2	2	11,965	24	23,93	—	0,820	1,071

Benzol.

Benzol wird hauptsächlich aus Koksofengas gewonnen und zwar überwiegend nach einem Verfahren von Brunck-Dortmund. Der Arbeitsgang nach diesem Verfahren ist folgendermaßen durchgeführt. Das zu behandelnde Gas wird mit einem bei der Teerdestillation gewonnenen zwischen 200° bis 300° verdampfenden Leichtöl gewaschen. Dabei absorbiert dieses Öl die Benzoldämpfe, die ihm durch Erwärmen dann wieder abgetrieben werden. Die so aus dem Gas abgeschiedenen Benzoldämpfe werden durch Abkühlen verflüssigt und geben das Rohbenzol. Dieses Rohbenzol ist noch durch Schwefelverbindungen verunreinigt, von denen es durch Behandeln mit Schwefelsäure und Natronlauge gereinigt werden muß.

Nach Bunte ergeben 100 kg Steinkohlen 1250 g Benzol im Koksofengas, außerdem enthält der aus dieser Kohlenmenge gewonnene Teer (50 kg) noch 90 g Benzol. Da zurzeit die Gewinnung der Nebenprodukte beim Koksofenbetrieb noch nicht allgemein durchgeführt ist, so können noch ganz beträchtliche Mengen Benzol aus den in deutschen Kokereien verkokten Stein-

Digitized by Google

kohlen erzeugt werden. Die volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Tatsache liegt für Deutschland darin, daß durch die Verwendung von Benzol den Preistreibereien der Benzin erzeugenden Länder wirksam begegnet werden kann.

Das im Handel vorkommende 90er Reinbenzol hat ein spezifisches Gewicht von 0,88—0,90. Es beginnt bei 80° zu verdampfen, bei 85° sind ca. 75° verdampft, aber erst bei 120° geht alles in Dampf über. Aus diesem Verhalten folgt, daß die Vergaser für Benzol mehr angewärmt werden müssen als bei Verwendung von Benzin.

Bei 0° erstarrt Benzol, doch ist dieser Umstand für den Fahrzeugbetrieb wenig störend. Die Übelstände, sie sich anfänglich bei den Versuchen, Benzol an Stelle von Benzin zu verwenden, ergeben haben, rührten zum größten Teile daher, daß die Luftmenge nicht richtig bemessen war und die für Benzin eingerichteten Vergaser für Benzol untauglich waren.

Weiter berichtet A. Spilker in der Chemikerzeitnng 1910, daß der Grund für die Bildung teerartiger Rückstände in den Zylindern von Fahrzeugmaschinen bei Benzolbetrieb mit darauf zurückzuführen ist, daß man anfänglich versuchte Rohbenzol zu verarbeiten. Im Rohbenzol ist eine Verunreinigung enthalten, die unter dem Namen Cylopentadin bekannt geworden ist und die sich mit der Zeit verändert und harzige Verbindungen eingeht, die teils im Benzol unlöslich, teils löslich sind und wahrscheinlich die Veranlassung für die Rückstände in den Zylindern abgeben. Für diese Anschauung spricht, daß solche Rückstände sich hauptsächlich dann in starkem Maße bilden, wenn längere Zeit abgelagertes Rohbenzol verwendet wird, wärend sie sich bei Verwendung von frisch bereitetem Rohbenzol nur wenig zeigen.

Aus diesen Darlegungen folgt, daß man für den Fahrzeugbetrieb nur Reinbenzol verwenden soll, das diese Verunreinigung nicht enthält.

Reinbenzol besteht chemisch vorwiegend aus Benzol C_6H_6, vermischt mit Toluol (C_7H_8) und Xylol (C_8H_{10}), es weist Benzin gegenüber eine viel gleichmäßigere chemische Zusammensetzung auf.

Die Verbrennungsgleichungen für Benzol sind entsprechend den für Benzin entwickelten aufzustellen.

Benzol besteht nach Grebel aus 92,2% Kohlenstoff und

Digitized by Google

7,6% Wasserstoff (der Rest von 0,8% besteht aus verschiedenen Stoffen).

Dann gilt 0,076 kg H+8 . 0,076 kg O = 0,684 kg H_2O

oder 0,076 kg H + 8.0,076.3,37 cbm Luft = $\frac{0,684}{0,81}$ cbm Wasserdampf.

0,076 kg H + 2,049 cbm Luft = 0,844 cbm Wasserdampf.

Ferner 0,922 kg C + 0,922.2,67 kg O = 3,384 kg CO_2

0,922 kg C + 0,922.2,67.3,37 cbm Luft = $\frac{3,384}{1,98}$ cbm CO_2

0,922 kg C + 8,297 cbm Luft = 1,709 cbm CO_2.

Also 1 kg Benzol braucht theoretisch 10,346 cbm Luft von 0° zur vollkommenen Verbrennung.

1 kg Benzol + 10,346 cbm Luft = 1,709 cbm CO_2 + 0,844 cbm Wasserdampf + 8,173 cbm N.

Der Anteil von Kohlensäure an den nicht kondensierbaren Bestandteilen der Verbrennungsprodukte beträgt demnach $\frac{1,709.100}{9,882}$ = 17,28% bei Verbrennung ohne Luftüberschuß.

Die Bestimmung des Luftüberschusses bei nachgewiesenem freien Sauerstoff in den Auspuffgasen erfolgt so, wie schon bei Benzin ausgeführt.

Digitized by Google

Literaturnachweis.

Riedler, Wissenschaftliche Automobil-Wertung. Verlag Oldenbourg.
Urtel-Pfitzner, Der Automobilmotor und seine Konstruktion. Verlag M. Krayn.
Zechlin, Automobil-Kritik. Herausgegeben vom Mittel-Europäischen Motor-Wagen-Verein.
Der Motorwagen, Automobil- und flugtechnische Zeitschrift. Organ der Automobiltechnischen Gesellschaft. E. V. und Fluchtechn. G.
Lutz, Zur Regelung von Automobilmaschinen. Heft 69 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure.
v. Doblhoff, Untersuchungen von Automobilkühlern. Heft 93 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure.
Güldner, Entwerfen und Berechnen von Verbrennungskraftmaschinen. Verlag Julius Springer, Berlin.
Menzel, Automobilangaser. Richard Carl Schmidt u. Co. Berlin 1907.
Heller, A., Dr. techn., Motorwagen und Fahrzeugmaschinen für flüssigen Brennstoff. Berlin 1912, Verlag Julius Springer.

JUN 3 1921

Digitized by Google

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 02111 2563

Digitized by Google

Digitized by Google